

ミリ波 VLBI 国内実験 MICE2015 報告書

2015/06/22

藤沢健太 (山口大学)

(1) 概要

2015 年 4 月 27-29 日に、野辺山宇宙電波観測所内にある 10m (大阪府立大学、SPART) と 1.85m (大阪府立大学、1.85m 電波望遠鏡) の間で 230GHz 帯の VLBI 実験観測を行い、フリンジを検出した。この報告書では実験の背景と目的、実験のシステム、観測結果、プレスリリースについて述べる。

(2) 背景と目的

国立天文台 VLBI 運営小委員会に設置された「ブラックホール研究検討会」において、ミリ波・サブミリ波の国内 VLBI 実験観測を行うことが推奨されている。その理由は次のとおりである。

- ミリ波・サブミリ波 VLBI 計画について議論した結果を机上の報告だけに終わらず、実際の観測・研究へと発展させるために、技術実験が重要である。これは日本の VLBI 研究として、基礎力を付けることにつながる。
- ハワイの JCMT を東アジア天文台が引き受けることになった。これを使った VLBI 実験をぜひ計画すべき。そのために技術検証をしつつ研究計画を立てるべきである。これは EHT などにもインパクトがある。
- ミリ波・サブミリ波 VLBI に興味を持つ若手を引き付け、活躍の場を与え、経験と能力を高める。JCMT を用いた研究の開始が間近なので、この実験観測は今、行うことに意義がある。

このような認識に立ち、2015 年 2 月 5 日に本間氏、土居氏、三好氏にあてて藤沢から以下のメールを送った。これが本共同研究の開始点である。

===藤沢が送ったメール===

本間さま、土居さま、三好さま

藤沢です。

唐突ですが、230GHz の国内 VLBI 実験を進めたいと

思っています。これにご協力願いたく、メールをお送りします。

ご存知の通り、VLBI 運営小委員会の中でやっている

BH 検討会の報告で、ミリ波・サブミリ波の

VLBI 実験観測をやってみることが推奨されています。

私としてもこれはぜひやらねばならないと思いますので、

野辺山や大阪府大と調整を行い、実験計画を作り、研究を

進めるよう、努力したいと思っています。この実験は

開かれたスタイルにして多くの人を巻き込むのが良いと思います。

嶺重さんや高橋さんにもご参加いただくとよいと思います。

このように考えているのは、いくつか理由があります。

- (1) せっかくの検討会を、机上の報告だけに終わらず、
実際の観測・研究へと発展させるために、技術実験が
重要である。(電波専門委員会への対策にもなります)
- (2) 三好、本間、土居グループを巻き込んで、
日本のVLBI研究として、基礎力を付ける。
これはEHTなどにもインパクトがある。
- (3) ハワイのJCMTを東アジア天文台が引き受けることにな
った。これを使ったVLBI実験をぜひ計画すべき。
それをいきなりやるのではなく、技術検証をしつつ
計画を立てるのが望ましい。

私自身がリーダーになる必要はありませんので、調整役を
引き受けようと思いますが、いかがですか。

可能ならこの春までに野辺山10m-1.85mでフリンジ検出
できないかと考えています。

もちろん予算はありませんので、多くの人の知恵と技術と
機材を使って進めたいともっています。

=====

藤沢健太 FUJISAWA Kenta <kenta@yamaguchi-u.ac.jp>
山口大学 時間学研究所 電話&FAX: 083-933-5973
住所: 〒753-8511 山口市吉田 1677-1

=====

===藤沢が送ったメール ここまで===

本間氏、土居氏、三好氏から参加の承諾を得て、共同研究は開始した。我々はこの実験を Mm
Interferometer Collaboration Experiment 2015 (MICE2015)と名付けて、野辺山でミリ波 VLBI
(230GHz 帯) のフリンジ検出をめざすことにした。

(3) 実験概要

3-0. 参加機関と人員

実験の主体は以下のとおりである。ミリ波 VLBI の研究を行っている国内のグループと、調整役の藤
沢、望遠鏡を提供していただく大阪府立大学、VLBI 技術開発を行っている NICT、国立天文台、茨城大学
他、大学連携からの参加者、ブラックホール研究のアドバイザーとして京都大学。末尾に一覧を掲載す
る(メンバーは常に流動する可能性がある)。この実験には次の機関に支援をいただいている。大阪府立
大学、国立天文台・野辺山宇宙電波観測所、宇宙科学研究所。

参加者: 三好(国立天文台)、春日(法政大)、坪井(宇宙研)、岡(慶應大)、氏原(NICT)、高橋真
聡(愛知教育大)、本間、秋山、河野、小山(国立天文台)、土居(宇宙研)、関戸、岳藤、堤(NICT)、

小川、大西、前澤、木村、長谷川、高橋、井上、森前、齊藤、原口、西田、種倉（大阪府立大）、米倉（茨城大）、藤沢、新沼、松本（山口大学）、嶺重（京都大）、齋藤、南谷（NRO）（順不同）

3-1. 事前準備

本実験に先立ち、4月2日に電話会議、4月6日に現地調査を行った。その調査結果を踏まえて、本実験の目標及び計画を設定した。

3-2. 実験観測システム概要・目標

本 VLBI 実験は、SPART 望遠鏡と大阪府立大学 1.85m 望遠鏡で 230GHz 帯で行う。基線ベクトルは南東―北西方向に約 150m であり、230GHz での最小フリンジ間隔は約 1.8 秒角となる。両望遠鏡は VLBI 設備を持たないので、本実験のために設置して観測する。今回の実験の到達目標は 230GHz でのフリンジ検出とする。

3-3. 運用上の基本方針

両望遠鏡の本来の業務に対する影響を少なくすることを実験実施上の方針とし、そのために次の方法を採用する：

- ・ 望遠鏡の駆動部は、VLBI 実験チーム（以後、MICE）は直接制御しない。MICE から大阪府大グループに天体追尾シーケンスを提示して、望遠鏡を駆動してもらう。（安定運用ができるようになったら、MICE が制御システムを借用して駆動することもある）
- ・ 望遠鏡の駆動は必要最小限とする（駆動部保護のため）。
- ・ 校正は大阪府大グループのシステムを借用し、当初は操作もやってもらう。
- ・ 観測信号はベースバンド（0-1GHz）で大阪府大グループから MICE に受け渡す（責任分界点）。
- ・ 観測周波数は、RF 周波数が 230.0–231.0GHz とする。
- ・ 周波数変換に必要な基準信号 10MHz (+10dBm) は MICE から大阪府大グループに渡す。
- ・ MICE の VLBI 観測機器と周波数標準は、各望遠鏡の場所を借用して設置する。

3-4. 周波数標準

VLBI 観測のための周波数標準は、2つの方式を切り替えてそれぞれ実験する。

- SPART 望遠鏡には 45m 観測棟に設置された水素メーザに位相ロックした 10MHz と 1PPS が供給されているので、これを用いる。
- 1.85m 望遠鏡は水素メーザ信号を光ファイバで伝送する方式（方式1：共通信号・ファイバ方式）と 1.85m の観測小屋に設置した OCXO の信号を用いる方式（方式2：独立信号）の2通りがある。この2通りを切り替える。さらに、SPART 望遠鏡に別の OCXO を設置して水素メーザ信号の代わりにするという第3の方式（方式3：2つの OCXO 方式）を採用する。

※参考

- ・ 高安定クリスタル（以下、OCXO）は国立天文台・JAXAの VLBI グループから借用する。
- ・ 光ファイバを用いた信号伝送は、両望遠鏡間に光ファイバ（シングルモード、1芯利用）を連絡し、共通の周波数標準を発生するものであり、NICT鹿島グループが技術・機材の提供を行う。利用可能な240m長の光ファイバはNICTが用意している。なおこの光周波数伝送方式は鹿島34m-11mで実利用されている。光ファイバの設置場所は4月6日の現地調査で確認した。ある程

度保護することも確認された。

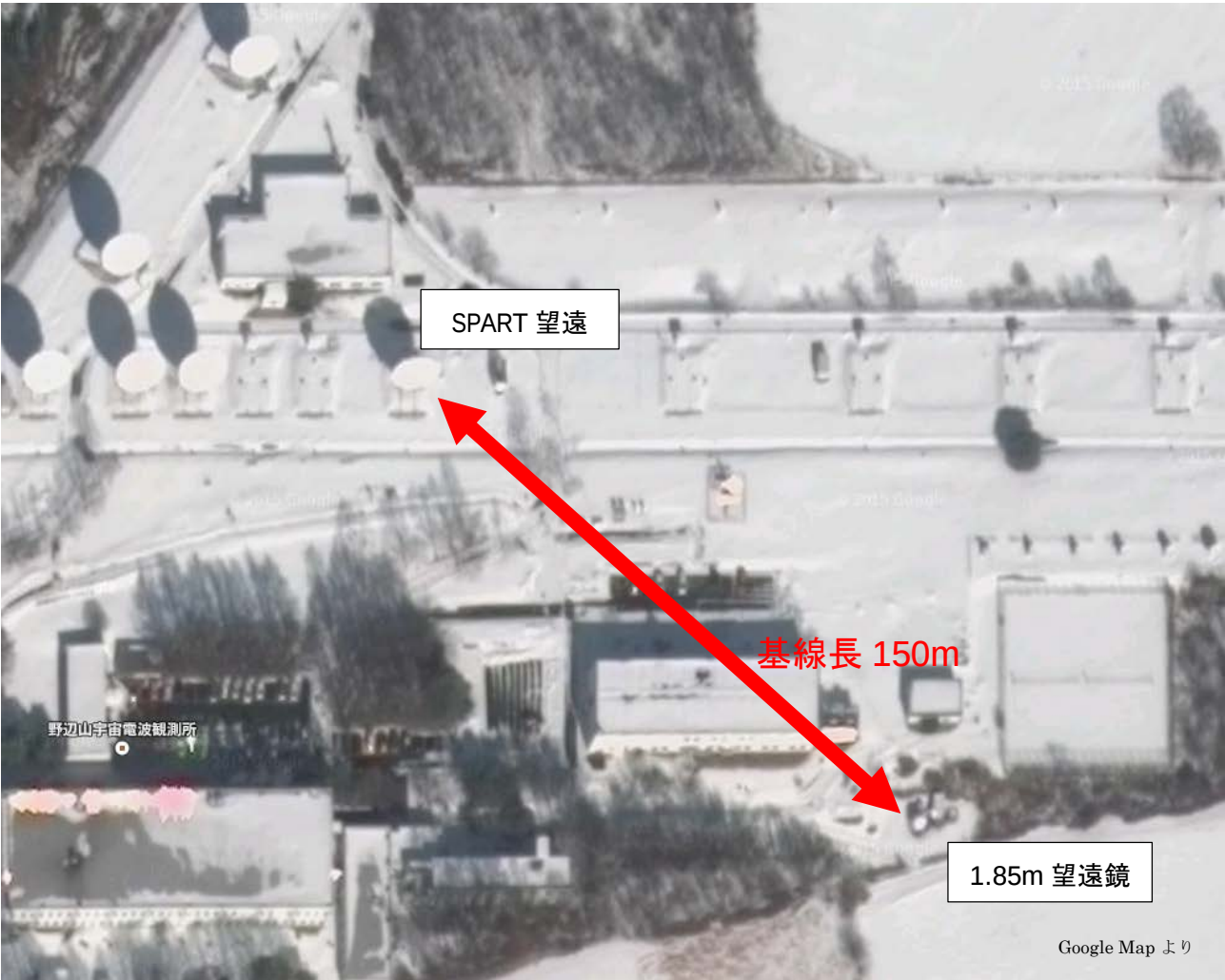


図 1．基線図（野辺山観測所航空写真；Google Map より）

3－5．VLBI 観測システム・観測周波数・周波数変換・サンプリング・記録

VLBI 観測システムとして NICT 開発のシステムと天文台開発のシステムを検討した結果、観測の準備時間が短いこと、天文台水沢 VLBI 観測所グループの拠点移転時期にあたっていることなどの理由により、今回は NICT のシステムを利用させていただくこととした（長期的には天文台システムを利用することが予想される）。

観測周波数は 230.0－231.0 GHz とする。これを 0-1 GHz（USB (1.85m)または DSB (SPART)) に変換したベースバンド信号を望遠鏡から MICE システムへ受け渡してもらう。

表 1．観測モード

観測周波数	ビットレート	サンプリング	メモ
230.0－231.0 GHz	4Gbps	16Gsps+digital filter 1ch	NICT の実績のあるシステム

機器の設置場所等はブロック図、関戸さんのメモに記した。

- ・ 1.85m 望遠鏡：観測小屋に VLBI 機器等一式を設置する。観測信号と参照信号の I F は小屋の中とする（小屋へベースバンド信号が来る。小屋から 10MHz の参照信号が出てゆく）。
- ・ SPART 望遠鏡：キャビンには 10MHz 分配器、光ファイバ信号送出器、オプションの OCXO（方式 3 で利用）を設置し、ケーブルは底面の入り口から出す（パテ等で出入口を適切にふさぐ）。
VLBI 機器は 27m 離れた位置にある I B に設置する。信号線は道路上を通して（観測実施時期は通行止めにしていただく）I B の窓の隙間から入れる。

3－6．相関処理・データ解析

当初の予定では、ftp を用いてデータを伝送する予定であった。すなわち「相関処理は NICT グループに依頼する。観測システムでそのままソフトウェア相関処理が可能なので、観測直後にデータを ftp して相関処理する。これによって準実時間で観測にフィードバックをかけられる。そのために両側の VLBI 観測システムをネットワークに接続し、ftp が可能であるよう設定する。なお、VLBI 観測システム自体は ntp サーバに接続する必要がある。」としていた。しかし実際には VLBI 観測機器側の都合により、ネットワーク経由のデータ伝送はできなかった。そのため、USB デバイスでデータを物理的に輸送して、相関処理を行った。

3－7．天体の選択

2 素子干渉計の検出感度は次の式で得られる。

$$S_{vmin} = \frac{2k_B\sqrt{T_{s1}T_{s2}}}{\eta_c\sqrt{A_{p1}A_{p2}}} \frac{1}{\sqrt{2\tau B}}$$

ただしパラメータは表 2 の値を用いた。10m・1.85m の最少検出感度は表 3 のとおり。1GHz の帯域幅で 10 秒間積分としても、5 σ の検出感度は 16 Jy である。したがって天体の選択は十分注意しなければならない。

今回の観測では、「月のエッジ」を対象とすることになった。月のエッジの輝度分布に含まれるフーリエ成分を観測する。1.85m も SPART 望遠鏡も月のエッジ（方位角は検討中）を連続的に追尾する。オフセットは A z または E 1 で重畳する。運用の簡易化のためにオフセット量は観測中は固定とする。オフセット位置・量は検討中。

なお、基線長が短いことにより、相関処理の位相中心は 1 度程度間違ってもよい。したがって相関処理時に採用する位置は月のエッジでも中心でも良い。

表 2．観測パラメータ

項目	値
10m システム雑音温度 T_{s1}	300 K
1.85m システム雑音温度 T_{s2}	300 K
10m 有効開口面積 A_{p1}	47 m ² ($\eta=0.6$)
1.85m 有効開口面積 A_{p2}	2.0 m ² ($\eta=0.6$)
量子化・相関器・その他の損失 η_c	0.2

表 3. 10m-1.85m 最少検出感度

帯域幅 B [MHz]	積分時間 τ [sec]	最少検出感度 5σ S_{vmin} [Jy]
1000	1	52
	10	16

3-8. 観測前に必要な情報

- ・ アンテナ位置：VLBI 観測が可能な程度の精度で局位置を知る必要がある。実質上は、(x,y,z) 座標で相対位置精度 1 m で実用に耐えると思われるが、できれば 10cm 程度の精度があることが望ましい。ただし地球中心に対する位置ではなく、相対位置精度でよい。実際の相関処理では、最初は Google Map が示す位置を用いていた。最終的には GPS で測定した位置を採用した（岳藤氏の資料を参照）。
- ・ ネットワークの利用可能性：観測を行うために NTP のアクセスを必要とする。そのため利用可能なネットワークがあることが前提となる。これは野辺山観測所に依頼して、利用可能となっている。実際には、VLBI 機器の不調でネットワーク経由のデータ伝送ができなかったので物理的輸送を行った。

(4) 観測システム構築

4-1. ブロック図

別紙に観測システムのブロック図を示した。図には観測にかかわるメモを併せて記入した。

4-2. 必要機材・調達・設置

別紙に必要機材リスト、調達方法、設置に関する事項を示した。

(5) 観測実施・時期・参加者

- ・ 4 月 25 日 10:30 から NICT 機器の搬入・設置、特にネットワーク機器の接続を部分的に開始する。担当は NICT・岳藤さんと大阪府大・木村さん。ただし SPART 望遠鏡は 27 日から。
- ・ 参加者：4 月 27 日に野辺山に集合した参加者：秋山、土居、岳藤、堤、小川、木村、長谷川、高橋、井上、森前、米倉、藤沢、南谷、三好（夜から）
- ・ 観測は 2015 年 4 月 27 日から 29 日にかけて行う予定とした。4 月 27 日（月）10 時に講義室に集合してミーティング。ついでセットアップを開始し、その夜に観測を行う。所期のフリンジが検出できたらその時点で観測を終了として撤収に移る。遅くとも 29 日の昼には撤収するとした。実際には 27 日の夕方の観測でフリンジを検出でき、また基準信号も 3 パターンのすべて（H メーザ・信号伝送、H メーザ・OCXO、OCXO・OCXO）を行うことができた。よって 28 日は撤去作業のみとして、観測は行わなかった。28 日の夕方までに解散した。

(6) 結果

上述の通り、フリンジを検出した。詳細は岳藤氏の資料を参照。

(7) 各報告

実験に参加した各パートの報告を添付する。

項目	報告名	報告者
ブロック図	MICE ブロック図	藤沢（山口大）
SPART 望遠鏡関連	SPART 望遠鏡(旧 F 号機)VLBI 実験 に関して	森前 和宣（大阪府立大学）
1.85m 望遠鏡関連	府大 1.85m 望遠鏡 VLBI 実験レポ ート	長谷川 豊（大阪府立大学）
単一鏡観測と VLBI の調整	野辺山ミリ波 VLBI 実験 －VLBI と単一鏡観測の調整－	米倉 覚則（茨城大学）
観測天体の選択 月の追尾プログラム	野辺山 mm-VLBI 実験(MICE 実験； 2015 年 4 月) 報告書 -観測天体の選定、位置計算と追尾プ ログラムの作成-	秋山和徳(国立天文台) 土居明広(ISAS/JAXA)
OCXO 関連	OCXO 系接続図	河野（国立天文台）
NICT 機器関連	ファイバ引き回しルート	関戸（NICT）
相関処理の概要	MICE2015：相関処理まとめ	岳藤（NICT）
VLBI 観測システム	MICE2015:VLBI 観測システム	岳藤（NICT）
使った長時間の相関処理	月の 1 時間追尾観測 相関処理まとめ	岳藤（NICT）
野辺山関連	野辺山ミリ波 VLBI 実験における野 辺山宇宙電波観測所の対応	南谷（NRO）
実験計画書	ミリ波 VLBI 国内実験計画書	藤沢（山口大）
機材リスト他	機材リスト（山口大学、茨城大学分）	藤沢（山口大）
記者発表関連	日本初“230GHz 電波干渉計実験観 測”に成功	藤沢（山口大）

(8) プレスリリース

本実験の成功を公表するプレスリリースを山口大学で行った。実施日時は2015年6月5日11時、参加者は藤沢（山口大学）、嶺重（京都大学）、秋山（国立天文台）、関戸（NICT）、小川（大阪府立大学）の5名である。このとき使った資料は付録に収録した。プレスリリースにはTV2社（KRY＝山口のローカル局とNHK）、新聞5社が来た。

このプレスリリースが記事となったのは次の通り。山口新聞（翌日朝刊1面）、中国新聞、その他は共同通信社の配信と思われる小さな記事が多数。また山口大学のプレスリリースと同時にNRO速報とNICTのVLBIニュースでも情報を公開し、それらに基づいた記事が複数あったらしい。テレビの放送では、KRYが当日夕方のニュースで放送し、またNHKが6月18日の朝と昼にローカルニュースとして放送した。山口新聞の記事のコピーを以下に示す。

山口新聞

(昭和38年12月1日第三種郵便物認可)

第22747号 (日刊)

山口新聞

発行所
みなと山口合同新聞社
〒750-8506 下関市東和町1丁目1-7
http://www.minato-yamaguchi.co.jp/

編集局 ☎083(266)3211
fax 083(266)5344
yedit@minato-yamaguchi.co.jp
営業局 ☎083(266)3212
販売・事業 ☎083(266)3213

2015年(平成27年)

6月6日
土曜日

TODAY

(旧暦4月20日、大安、みずのとうし) 三亡種、補聴器の日

天体解像度3倍に 山大共同チーム、電波望遠鏡2台で

山口大時間学研究所の藤沢健太教授(宇宙物理学)が率いる共同研究チームは5日、天体が発する高周波を2台の電波望遠鏡で同時に観測し、天体の解像度を3倍にする実験に成功したと発表した。230ギガという極めて高い周波数での観測成功はアジアで初めて。世界で誰も見たことがないブラックホールの画像を捉えるための重要な一歩として、期待が高まっている。

ブラックホール撮影に道

ブラックホールの画像観測へ大きな一歩となる研究成果を発表する山口大時間学研究所の藤沢健太教授(右)ら共同研究チーム＝5日、山口市の山口大

共同研究チームは、同大と国立天文台、宇宙科学研究所、情報通信研究機構、大阪府立大、茨城大、京都大の7機関で構成。藤沢教授の働き掛けで、これまで別々の目的で使われていた技術を研究者が持ち寄って観測システムを構築し、快挙を成し遂げた。

藤沢教授によると、共同研究チームは4月27日、国立天文台野辺山宇宙電波観測所(長野県南牧村)にある2台の電波望遠鏡を使い、「電波干渉計」という手法で観測実験を行

った。

電波干渉計は、2台以上の電波望遠鏡で天体が発する電波を同時に観測する手法。周波数が高いほど、また電波望遠鏡の間隔が離れているほど解像度が高くなる。ごく小さい天体も見ることができ、ブラックホー

「いじめ」

小学生

政府は5月、2015年版「子ども・若者白書」を

※小学4年(2007年度)が6年間12回調査。文科省調べ

いじめを経験した経験(仲間はずれ・無視・陰口)

被害 13.0%

加害 12.7%

いじめを経験していない 74.3%

め

生「6」

関係決定、ものいじめ

※中学3年にあ

被害 12.7%

加害 12.7%

いじめを経験していない 74.6%

ルの画像を捉える唯一の方法とされる。一方で、複数の電波望遠鏡で周波数の波を合わせるには、周波数が高いほど難しく、これまで国内では86ギガが最高だった。

ブラックホールは、超強力な重力で光も吸い込む天体。極めて小さく、地球から遠いため、その姿が画像として捉えられたことはない。共同研究チームによると、ブラックホールの画像化は、月にあるテレビスコープの写真を撮る難しさに匹敵するという。

230ギガの観測は西欧や米国ですでに成功し

ており、日本でも成功したことでより遠く離れた電波望遠鏡を使っての観測が可能になり、より精密な画像を得ることができるといふ。今後1年以内に米ハワイの電波望遠鏡との間で共同観測を目指し、将来的には世界各国と協力して研究を進めたいとしている。

藤沢教授は「230ギガの観測技術を獲得できたことで、今後国際的な実験観測に展開できる。ブラックホールの画像化を現実のものとして議論できるところになったのは大きな成果」と強調した。

補聴器の日

〈きょうの歴史〉

▼1987(昭和62)年、東京都東村山市の特別養護老人ホーム「松寿園」で火災が発生、入所していた寝たきりの老人ら17人が死亡した。

▼1999(平成11)年、山口県がダイオキシン類排出量の削減目標などを盛り込んだ「県ダイオキシン類指針対策」をまとめた。中国5県初。

地方新聞社が編集
地域の急ぎ 暮らしを支援
47CLUB
出店者募集中
ふるさとを応援

日本初! 230 GHz VLBI フリンジ検出 1.85m - SPART望遠鏡

次は長屋線まで
やりましょ!
天文台・秋山

またVLBI出張
相談承ります!
NICT 長瀬

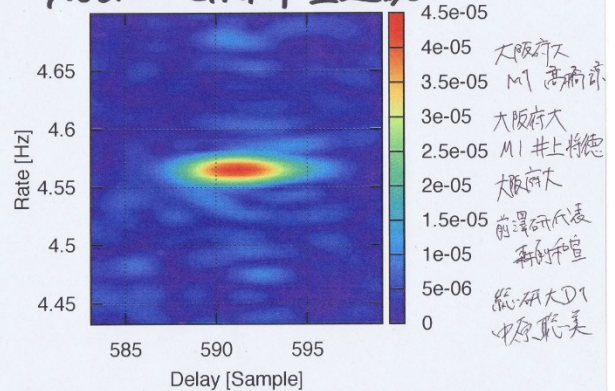
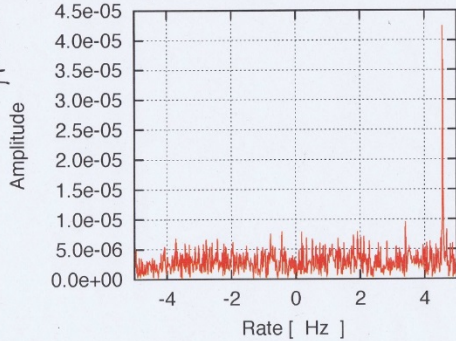
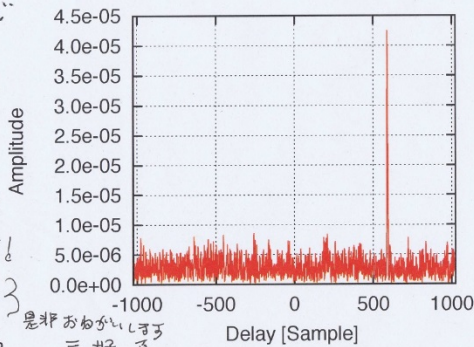
次回までにSPARTの
受信機を供仕様に
ご協力ください。
秋山D2 長瀬

観天望
河野君

岡田望

おめでとう!

みなさんの矢の志と努力の賜物です。
次は科学観測、そして国際観測! 藤沢



Epoch : 2015/117 09:20:00
Station-1: SPART
Station-2: M185
Source : moon
Length : 59.999943[sec]
Sampling : 2048000000[sps]
Frequency: +230000.000000[MHz]
Peak Amp : 0.004257[%]
Peak Phs : 47.656835[deg]
Delay : +591.107971[sp]
Rate : +4565.752442[mHz]
SNR : 14.610458

大阪府大
M1 高橋 謙
大阪府大
M1 井上 裕徳
大阪府大
前澤 研代 表
新井 和 宣
筑波大D1
中野 聡 美

大阪府大
大井 久 幸

小川 英 夫
大阪府大

宇宙科学研究所

土居 明 広

おめでとう
ご協力ありがとうございます 米倉 寛 則

おめでとうございます
NRO 南 谷 哲 宏

寄せ書き

SPART 望遠鏡(旧 F 号機)VLBI 実験に関して

森前 和宣（大阪府立大学）

概要

2015/4/27 の VLBI 観測に際しての SPART 望遠鏡の周波数設定に関する報告を行う。

観測準備：周波数設定

1st Local Freq. = 224.499999996 GHz

1st IF Freq. = 5.5–6.5 GHz

2nd Local Freq. = 5.5 GHz

2nd IF Freq. = 0–1 GHz

RF Freq. = 229.999999996–230.999999996 GHz

➤ SPART には 5.5–6.5 GHz バンドパスフィルタが搭載されているため今回 2ndLO は普段の観測のままの 5.5 GHz とし 1stLO を変更する事で周波数設定を行った。

➤ 1stLO の値は 1stSG の値を(20–30)逡倍し、45 m 望遠鏡からの 10 MHz を足し合わせたものをさらに 3 逡倍することで得ている。今回の実験では 1stSG の値を 3.401060606 GHz とした。

$$(3.401060606 \text{ GHz} \times 22 + 10 \text{ MHz}) \times 3 = 224.499999996 \text{ GHz}$$

結果、求められていた周波数設定からは 4 Hz のズレが生じた。

(藤沢さんよりメールを頂いてはじめて気がつきました。会議の際に 1stSG の周波数設定を 0.01 Hz まで記述していましたが、SPART の SG で設定できるのは 1 Hz までです。これにより求められていた周波数設定からズレが生じていました。申し訳ありません。)

天体追尾

こちらに関しては 1.85m と同様のためこちらでの説明を省く。(1.85 m の報告書の方で長谷川さんが大変分かりやすく記述してくださっていますのでそちらをご覧ください)

府大 1.85m 望遠鏡 VLBI 実験レポート

2015 / 05 / 01 大阪府立大学 長谷川 豊

1 概要

・ 2015 / 04 / 27-28 にて、府大 1.85m 望遠鏡と SPART 望遠鏡の間で 230GHz 帯 VLBI 観測実験を行った。本レポートでは、府大 1.85m 望遠鏡のステータスと駆動環境整備について報告する。

2 望遠鏡ステータスに関して

- ・ 実験時の周波数設定は次のようである。
 - ・ 1st Local Freq. = 225.768336 GHz (定常運用時から変更なし)
 - ・ 1st IF Freq. = 4.231664 – 5.231664 GHz (定常運用時 : 4.0-6.0 GHz)
 - ・ 2nd Local Freq. = 4.231664 GHz (定常運用時 : 4.0-6.0 GHz から変更)
 - ・ 2nd IF Freq = 0.0 – 1.024 GHz (定常運用時 : 0.0-2.0 GHz の帯域内)→ RF Freq = 230.0 – 231.024 GHz
- ・ 冷却受信機的主要なステータスは次のようである。
 - ・ 2SB-Filter により USB / LSB 分離 (IRR > 20 dB)
 - ・ Circular Polarizer により左右円偏波分離 (交差偏波分離度 > 30dB)
 - ・ $T_{RX-USB} = 90\text{ K}$ (2nd IF = 4.0-6.0 GHz にて)
 - ・ フィード効率 $\eta \doteq 0.60$, $T_{sys} \doteq 200\text{ K}$
 - ・ 2nd IF 最終信号強度 = 約 - 30dBm

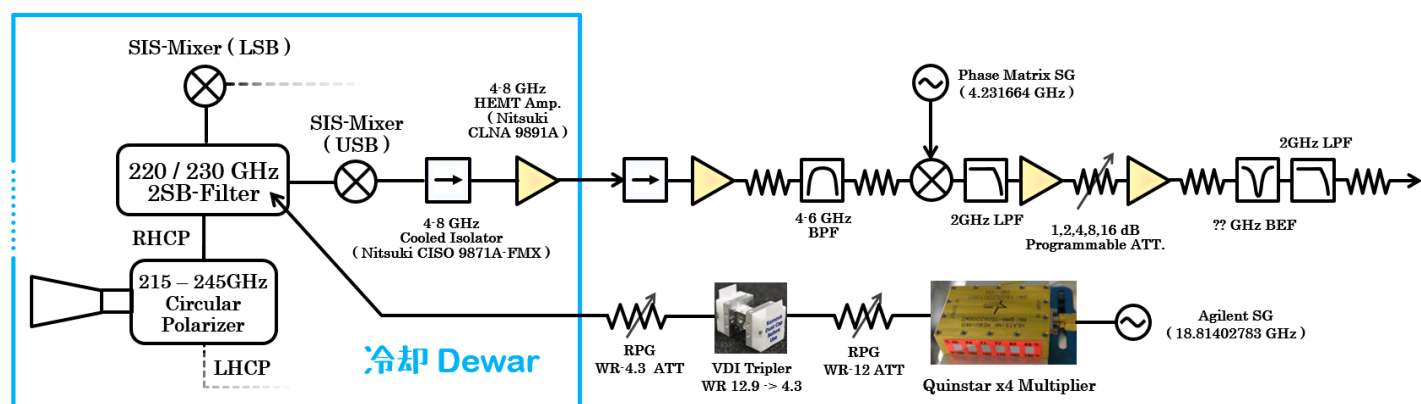


図 1 : 府大 1.85m 望遠鏡 受信機ブロックダイアグラム (VLBI 実験関連部を抜粋)

3 駆動環境整備に関して

- 1.85m の機器制御は、大阪府大 OB で現野辺山観測所職員の西村淳氏によってフルオート・リモート観測が可能のように整備されている。
- 本実験では分光計 → サンプラーとなり、データ出力を制御しないため、普段利用している観測スクリプトでは駆動制御が出来なかった。
 - 駆動モーターを一意に制御している `motor` モジュールを直接操作する専用の駆動環境を整備することにした。`motor` モジュールの中には、惑星の追尾を自動で行う `move_planet` メソッドと、太陽系外天体を追尾する `move_radio` メソッドがあり、これらを利用した。
- `move_planet ( self, planet_number, acc )` メソッドは、惑星追尾を停止命令があるまで継続するものであり、`planet_number` には木星 = 5 , 天王星 = 7 , 月 = 10 を入力して実行すればよい。`acc` は座標更新間隔である。
- `move_radio ( self, x, y, coord_sys, acc )` メソッドは、天体追尾用を停止命令があるまで継続するものである。`coord_sys` は分点カタログを指定する値で、1 = J2000 , 2 = B1950 , 3 = LB , 10 = Apparent である。`x` , `y` は天体の座標を degree 単位で入力する (OriKL では `X = 83.1958` , `Y = -5.40639`)。 `acc` は座標更新間隔で、1 秒に設定した。
- 実験当日は、上記メソッドを用いて OriKL を追尾行った。月の追尾に関してはエッジを見るためのオフセット量を読み込ませる必要があったため、天文台の秋山氏に上記メソッドを用いるように伝え、用意していただいたスクリプトを実行するのみとした。

野辺山ミリ波 VLBI 実験 ―VLBI と単一鏡観測の調整―

2015 年 5 月 6 日

米倉 覚則（茨城大学）

（１）周波数設定の確認

今回の観測帯域内には CO (J = 2-1) 輝線が含まれるため、観測される CO 輝線の周波数を確認する事により、周波数設定が正しいか否かをチェックした。

（参考）Recommended Rest Frequencies

<http://physics.nist.gov/cgi-bin/micro/table5/start.pl>

LSR に対する観測所の視線速度を、下記により計算した。

Ed Murphy's VLSR Calculator

<https://www.astro.virginia.edu/~emm8x/utls/vlsr.html>

SPART 望遠鏡は、横軸＝baseband 周波数にて分光データを出力できた。観測された CO 輝線の周波数は、上記計算結果とほぼ一致した。

一方、1.85 m 望遠鏡は、横軸＝Vlsr のデータしか出力できないため、単一鏡観測時の周波数設定で取得されたデータと、VLBI 観測用の周波数設定で取得されたデータとで、速度情報が一致する事を確認する事により、周波数設定が正しい事を確認した。

今後に向けて：

1.85 m 望遠鏡が、横軸 = baseband 周波数、にて分光データを出力できると良い。

（２）10 MHz Ref の入力信号強度

接続する機器によって、lock に必要とされる入力信号強度がまちまちであったようなので、取扱説明書で事前に強度を調べておく必要がある。また、10 MHz Ref out 端子を持っている装置については、出力信号強度についても調べておくが良い。

（３）1.85 m 用の GPS 受信装置の 1 PPS 出力

1.85 m アンテナで独自に使用している GPS 受信装置には、1 PPS 出力端子があるが、信号が出力されているか否かは未確認である。1 PPS が出力されていれば、新たに GPS 受信装置を設置する必要がないため、機器の準備が楽になる。

以上

野辺山 mm-VLBI 実験 (MICE 実験; 2015 年 4 月) 報告書 -観測天体の選定、位置計算と追尾プログラムの作成-

秋山 和徳 (国立天文台), 土居明広 (ISAS/JAXA)

概要

この報告書では 2015 年 4 月 27-28 日に実施した野辺山ミリ波 VLBI 実験 (MICE 実験) における観測天体の選定方法、観測天体となった月の追尾位置の決定方法、そして望遠鏡の追尾プログラムの作成方法に関して報告する。

1 観測天体の選定

1.1 フリンジ検出感度

MICE 実験では口径 10 m の SPART 望遠鏡 (旧 NMA F 号機) と 1.85 m 電波望遠鏡を用いた。大阪府立大学の木村氏の情報に基づいて、各望遠鏡の開口能率 η_{eff} 、野辺山の 5 月初旬の 230 GHz 帯での好天での典型的な $T_{\text{sys}*}$ の値 550 K (@1.85m)、1.85 m 望遠鏡における DSB 利用による 50% のロス ($\eta_{\text{DSB},1.85}$)、SPART 望遠鏡における直線偏波フィードによる 50% のロス ($\eta_{\text{POL},\text{SPART}}$) を考慮に入れて、フリンジの 7σ 検出感度を見積もると下記ようになる。

$$7\sigma_{\text{rms}} = 19.2 \text{ Jy} \left(\frac{\eta_{\text{POL},\text{SPART}}}{0.5} \right)^{-1/2} \left(\frac{\eta_{\text{DSB},1.85}}{0.5} \right)^{-1/2} \left(\frac{\eta_{\text{eff},1.85\text{m}}}{0.66} \right)^{-1/2} \left(\frac{\eta_{\text{eff},\text{SPART}}}{0.44} \right)^{-1/2} \left(\frac{T_{\text{sys},1.85\text{m}}}{550 \text{ K}} \right)^{1/2} \left(\frac{T_{\text{sys},\text{SPART}}}{550 \text{ K}} \right)^{1/2} \left(\frac{t_{\text{integ}}}{10 \text{ sec}} \right)^{-1/2} \left(\frac{\Delta\nu}{2 \text{ GHz}} \right)^{1/2} \quad (1)$$

確実にフリンジを検出するためには 20 Jy 以上を優に超える天体を探す必要があった。

なお、実際の実験時に観測前に大気込みシステム雑音温度を測ると $T_{\text{sys}*} \sim 1000 \text{ K}$ であった。実際の観測では感度がさらに二倍近く悪かったことになる。

1.2 観測天体の検討

3 月の下旬ごろから 4 月上旬にかけて土居が上記の感度を満たす観測可能天体の検討を行った。情報を収集した天体は 1) Orion KL の H_2O メーザー、 ^{12}CO ($J=2-1$)、 ^{13}CO ($J=2-1$) の輝線、2) SMA Calibrator (主にブレイザー)、3) UCHII 領域、そして 4) 太陽系天体である。1), 2), 3) とともに上記の検出感度を満たす天体はなく、輝度温度が数 100 K と高く天体のサイズも大きく高いフラックス密度が期待できる 4) 太陽系天体が唯一の候補天体となった。

1.3 太陽系天体のシミュレーションと月の選定理由

1.3.1 シミュレーションについて

太陽系天体は一般的に暗い天体でもフラックス密度が 1000 Jy を超え、全天の中でも 230 GHz 帯で最も明るい電波源の一つである。しかし一般的にその構造は広がっており、惑星は数" から数 10" のサイズ、月は 30' の大きさを持つ。1.85 m 望遠鏡と SPART 望遠鏡の基線長 ($\sim 140 \text{ m} \sim 100 k\lambda$) はフリンジ間隔で 2" に相当するため、顕著な太陽系天体は空間分解されることが予想される。そこで秋山が相関フラックスを求めるために観測シミュレーションを行った。シミュレーションには秋山が今回の実験のために用意したプログラムを用いた。

シミュレーションは金星、火星、木星、土星、天王星、海王星、月に対して行った。太陽に関しては SPART 望遠鏡が CCD を搭載し、観測不可であったため候補天体から除外した。また水星も太陽との距離が近いいため候補から除外した。また冥王

星に関しては輝度温度とサイズが小さく、検出が見込めないため計算を行わなかった。

uv -coverage の計算には国土地理院の地図から求めた SPART 望遠鏡、1.85 m 望遠鏡のおおまかの局位置を用いた。各天体の座標 (J2000, 赤道座標) および視直径は JPL HORIZON の 4 月 28 日 UT0 時における値を用い、各天体の固有運動および視直径の時間変化は無視した。前者は固有運動を考慮しても観測天体が視野内には積分時間の範囲ではとどまり、後者は視直径の変化は小さく数 %/日程度となるため、両者ともに相関フラックス密度に影響を与えないためである。天体の輝度温度は、土星は 100 K (e.g., Cavalie et al. A&A, 484, 555C)、月は 225 K (現代の天文学 13 巻)、その他の天体は ALMA Memo #594^{*1}の輝度温度の値を用いた。天体の構造は輝度が一般的なディスクを仮定し、土星の輪などは無視した^{*2}。

惑星のうち、サイズがフリンジ間隔の 2" よりも大きい金星、木星、土星、月に関しては望遠鏡の追尾座標を中心からずらして、エッジをみた場合も調べた。

1.3.2 シミュレーション結果

シミュレーションの結果を図 1-19 に示した。相関フラックス密度が 20 Jy を優に超えるのは 1) 金星の沈みかけの時間帯と (図 1, 2, 3, 4, 5) と月でオフセットの向きと uv ベクトルの向きが揃う時間帯 (図 19) のみであった。月はオフセットの向きを適宜調節すれば、100 Jy 程度の相関フラックスが常に期待できたため、月を観測天体に選定した。

2 月の観測方法

2.1 オフセットの入力方法の検討

SPART 望遠鏡の Pointing 精度は Pointing 観測なしで 10" 程度 (前澤氏情報) であり、ポインティングが最大で FWHM の 1/3 程度ずれる可能性があった。そこで SPART の望遠鏡のビームが月のエッジから多少外れてもフリンジが検出できるか確認をする必要があった。そこで §1.3.1 のシミュレーションで SPART の望遠鏡をエッジから 0-20" 程度のズレを全方位に生じさせて相関フラックス密度にどの程度ロスがあるか調べた。結果は図 20 のようになり、ワーストケースでも 90 Jy 程度の相関フラックス密度が期待できたため、月のエッジをそのまま見ることにした。また図 20 に示されている通り、オフセットを固定した場合高い相関フラックス密度が期待できるのは uv ベクトルとオフセットの方位角が概ね一致する 30 分間弱である (図 19 の visibility 振幅の空間分布も参照)。そこで実験時には定期的に uv ベクトルの回転にあわせてオフセットを更新する必要があることがわかった。

2.2 追尾プログラムの作成・相関処理用の座標の計算

SPART 望遠鏡、1.85m 望遠鏡の駆動系のソフトウェアは python ベースでほぼ同じ物が使用されており、望遠鏡の駆動モーターを一意に制御している motor モジュールに用意されたメソッドを用いることで時刻に応じて柔軟にオフセットを更新できる (大阪府立大・長谷川氏レポート参照)。motor モジュールには既に月の中心部を追尾するメソッド、追尾している天体の座標に赤道座標 (J2000) の追尾オフセットを入力するメソッドが実装されている。そこで今回の実験に際して上記のメソッドを用いて次のような動作をする python スクリプトを秋山が用意し、1.85m 望遠鏡担当の長谷川氏、SPART 望遠鏡担当の森前氏に実装・実行してもらうことで天体の追尾を行った。

1. あらかじめ用意しておいた 1 分おきの追尾オフセット角を格納した csv 形式のテーブルを読み込む。
2. 月の中心を motor モジュールのメソッドを使って追尾する。
3. 20 秒おきに現在時刻を取得し、最も近い時間の追尾オフセット角を読み込み、motor モジュールのメソッドを使って追尾オフセットを入力する。
4. 指定した観測終了時間を過ぎたら、motor モジュールのメソッドを使って追尾を停止させる。

追尾スクリプトに入力したオフセット角や相関処理用の追尾座標の計算方法はフローチャートにして図 21 に示した。計算された入力用のオフセットの向きは uv ベクトルの向きと概ね一致し^{*3}、その長さが月の視半径と 1 mas 以内で一致することを確認した上で実験を実行した。

^{*1} https://science.nrao.edu/facilities/alma/aboutALMA/Technology/ALMA_Memo.Series/alma594/abs594

^{*2} 実際は輪の構造は向きによっては相関フラックス密度に無視できない影響を与える

^{*3} “概ね” となるのはオフセット角は J2000 ベースで視赤経、視赤緯のオフセットと微妙にずれるためである

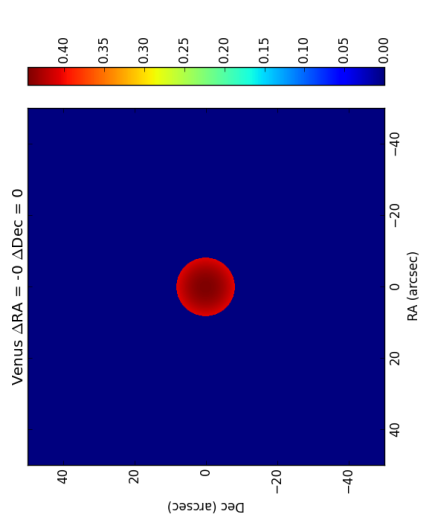
実際にフリンジが検出されたことは SPART 望遠鏡と 1.85m 望遠鏡が正確に相関フラックス密度が大きくなる方向の月のエッジを正確に追尾していたことを示している。一方、実験実施時に岳藤氏に渡した相関処理用の追尾座標の赤道座標 (J2000) は秋山のスクリプトの出力ミスで赤緯方向に 30-40 度近い誤差が入っていた。これによって生じる Delay rate は

$$|\dot{\tau}| \lesssim 2\pi\omega_e v \Delta y \sim 5 \text{ Hz} \left(\frac{v}{100 k\lambda} \right) \left(\frac{\Delta y}{40^\circ} \right)$$

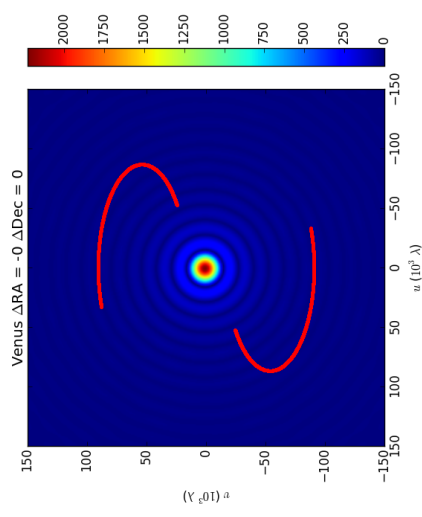
となり、検出されたフリンジの 4 Hz 前後の高い delay rate を概ね説明できる。また低い SNR はこの座標のミスによる大きな delay と delay rate によるコヒーレンスロスに起因するものだと考えられる。実際、後日おこなれた相関処理では座標を正確のものにしたことで実験時よりも高い SNR でフリンジが検出されている (岳藤氏レポート参照)。

謝辞

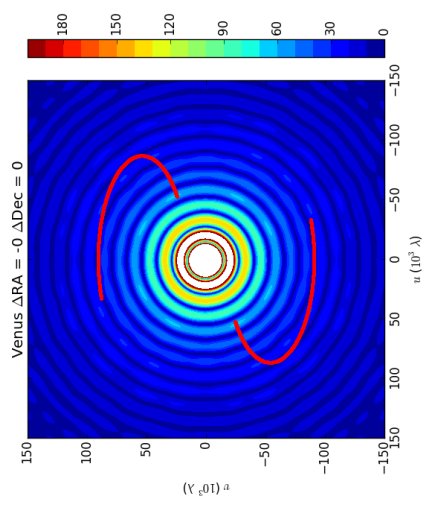
今回の観測天体検討・追尾プログラムの作成は大阪府立大学および国立天文台野辺山の多くのスタッフ・学生の協力のもと行われました。太陽系天体のエッジを見るというのは国立天文台野辺山の斉藤所長の助言に基づいて検討されたものでした。また大阪府立大学のみなさんに事前に情報をいただいたことで、観測天体の最終的な絞り込みが可能となりました。また大阪府立大学 OB で現・国立天文台野辺山の特任研究員の西村さんに望遠鏡追尾のサンプルスクリプトを頂いたほか、望遠鏡ソフトウェアに関して詳細な情報を頂けたことで、短期間で追尾プログラムの作成をすることができました。協力していただいた皆様にこの場を借りて御礼申し上げます。



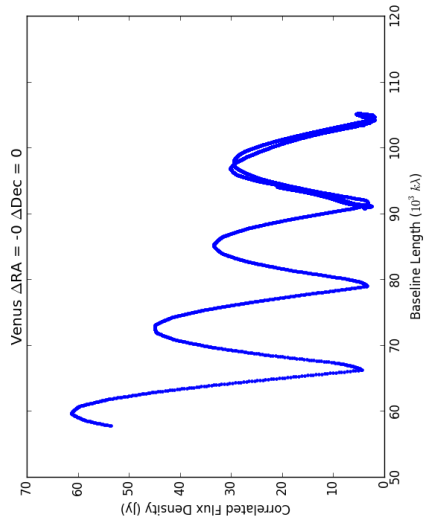
(a) Model Image



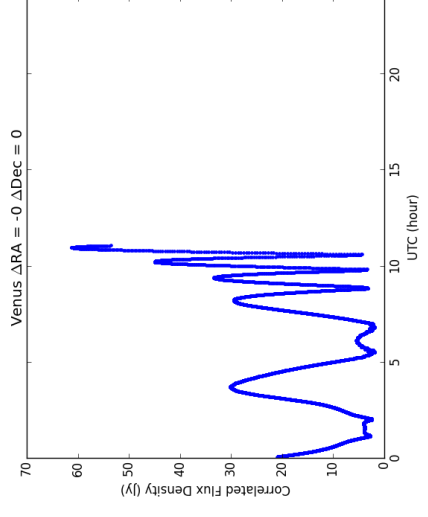
(b) Model Visibility (contour: min - max)



(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

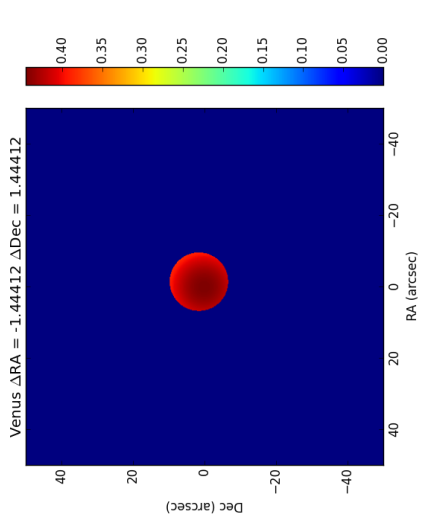


(d) radplot

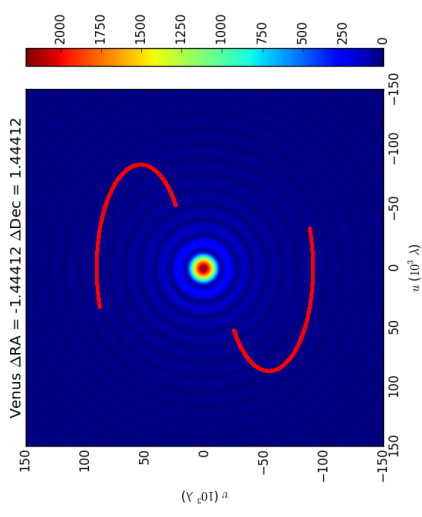


(e) vplot

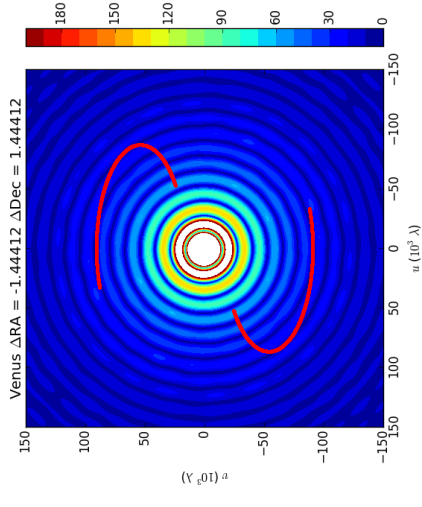
図1 金星 オフセットなし



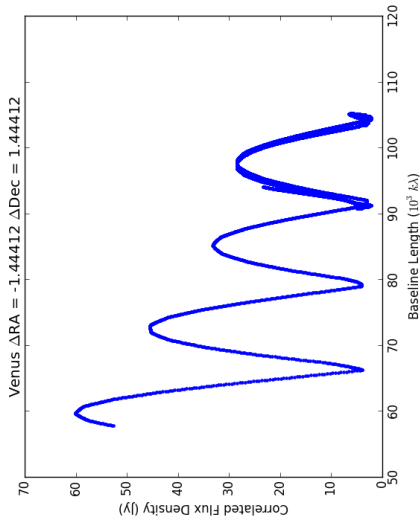
(a) Model Image



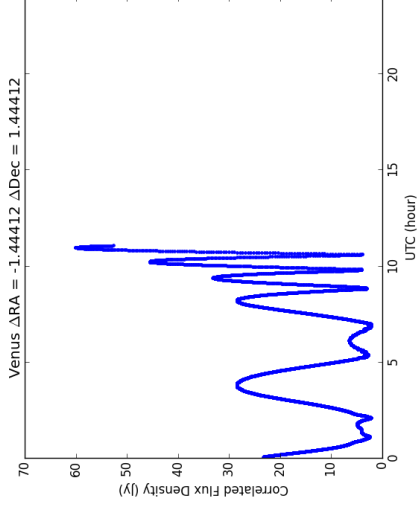
(b) Model Visibility (contour: min - max)



(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

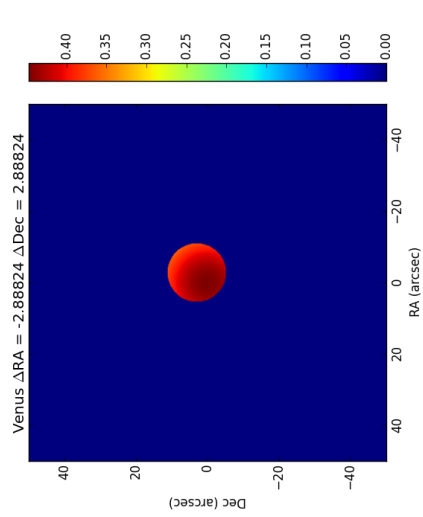


(d) radplot

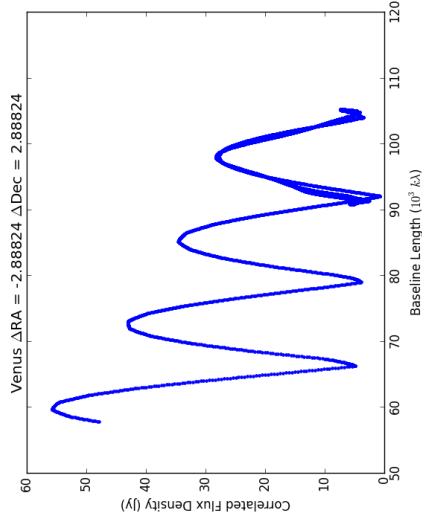


(e) vplot

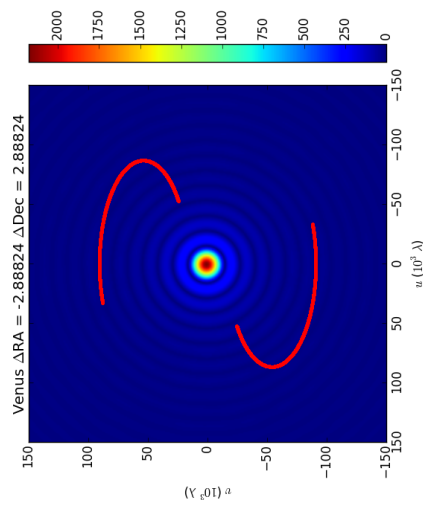
図 2 金星 1/8 直径分オフセット



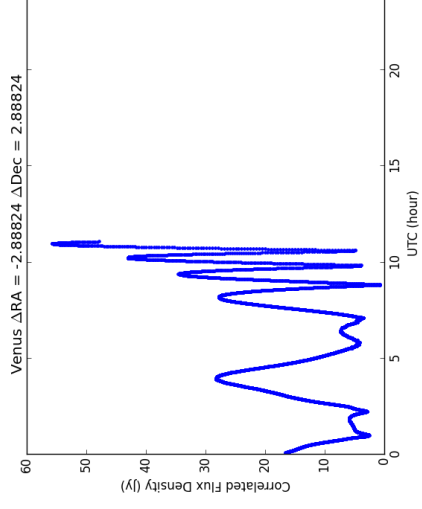
(a) Model Image



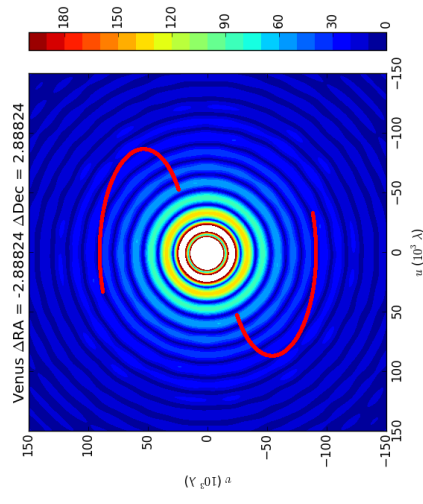
(d) radplot



(b) Model Visibility (contour: min - max)

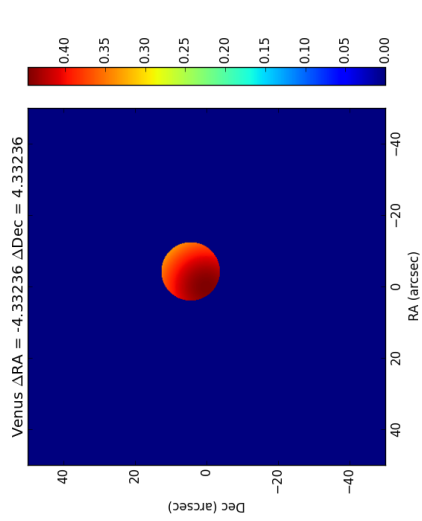


(e) vplot

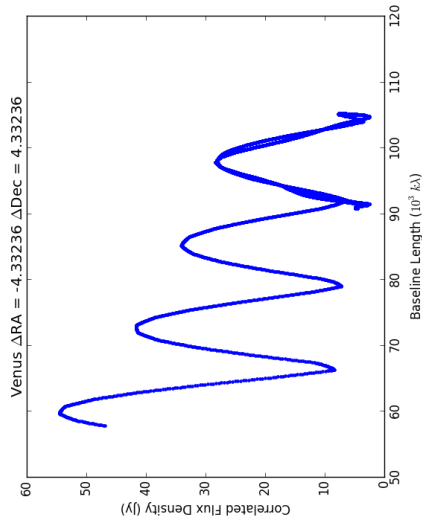


(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

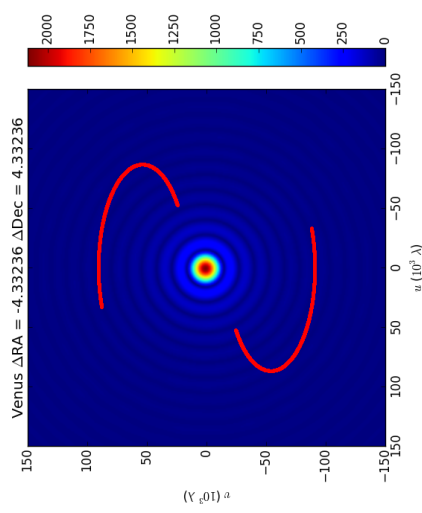
図 3 金星 1/4 直径分オフセット



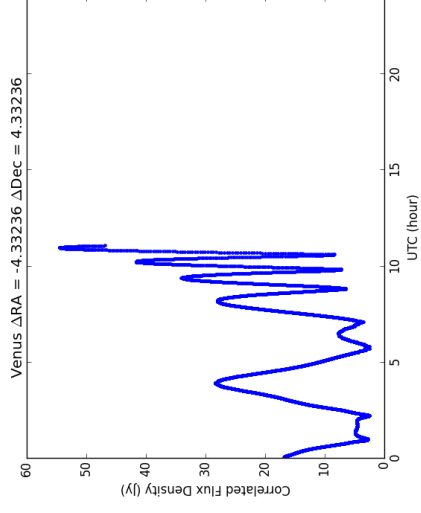
(a) Model Image



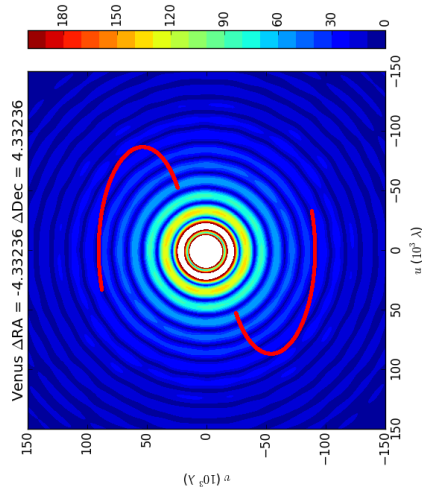
(d) radplot



(b) Model Visibility (contour: min - max)

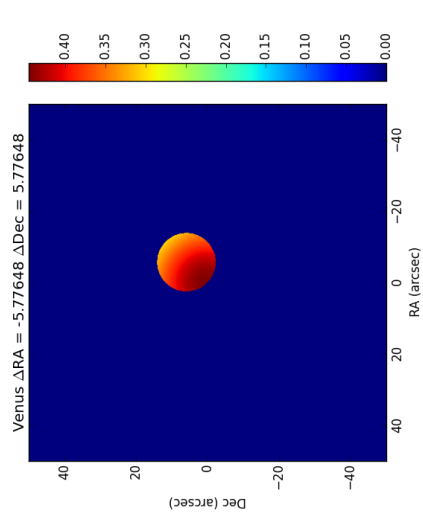


(e) vplot

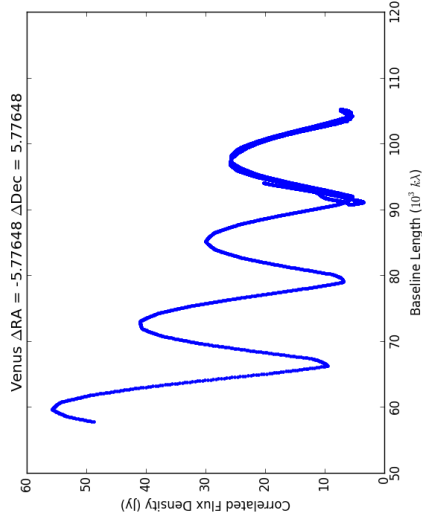


(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

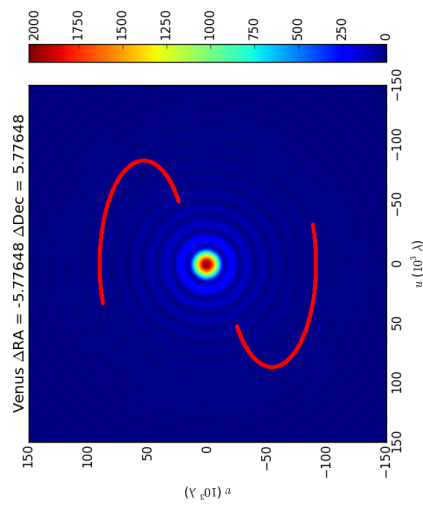
図 4 金星 3/8 直径分オフセット



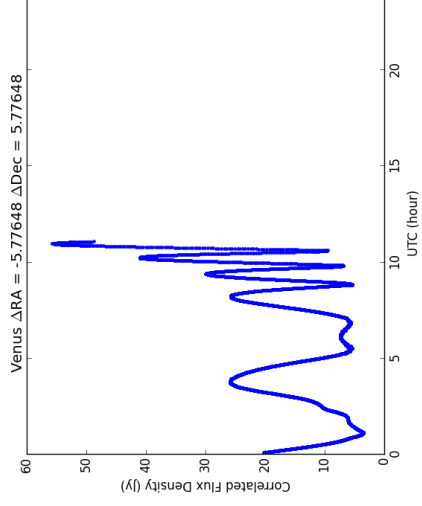
(a) Model Image



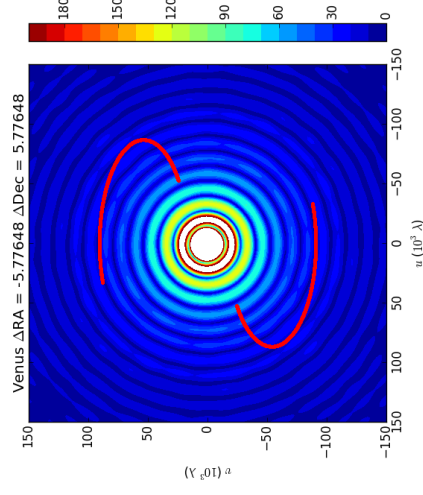
(d) radplot



(b) Model Visibility (contour: min - max)

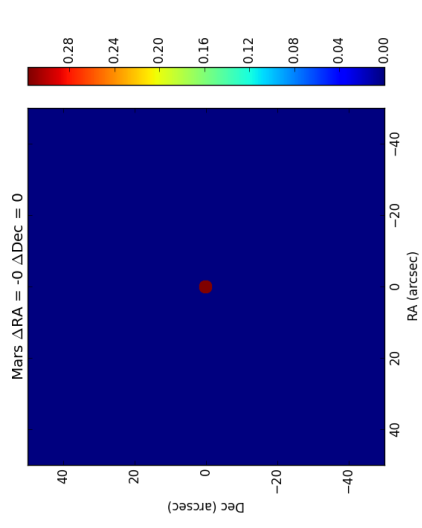


(e) vplot

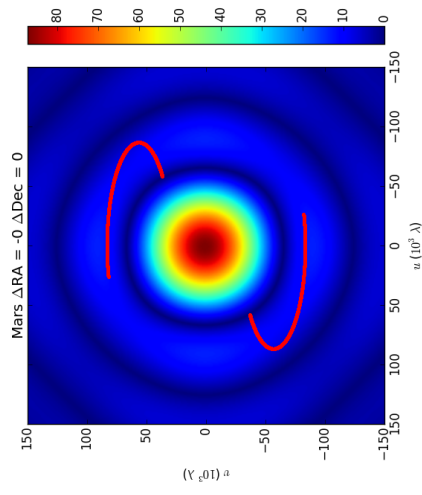


(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

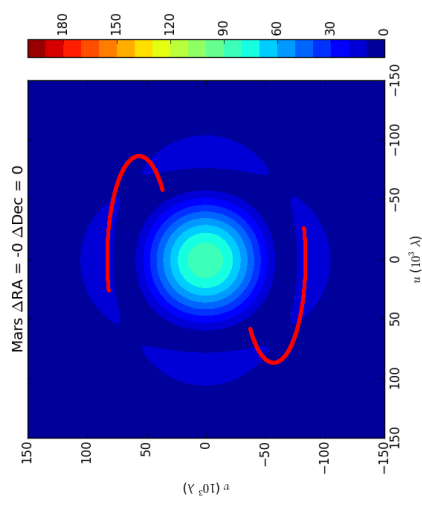
図 5 金星 1/2 直径分オフセット



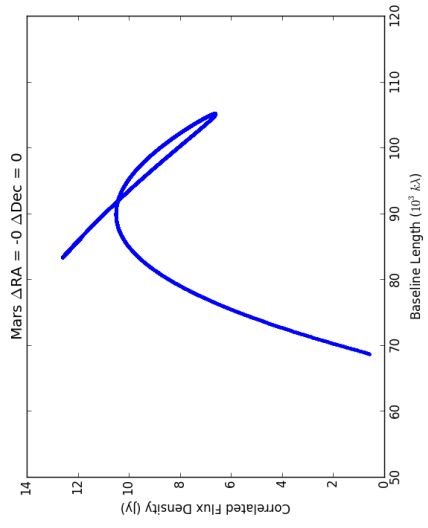
(a) Model Image



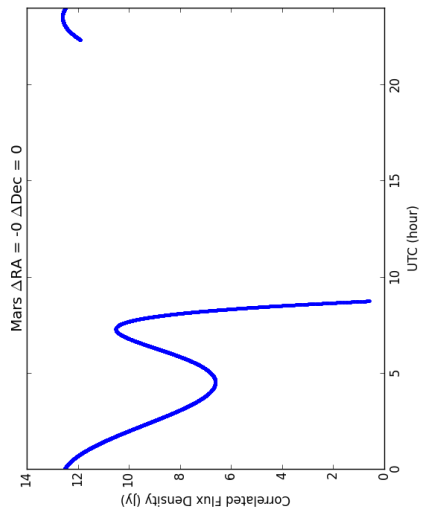
(b) Model Visibility (contour: min - max)



(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

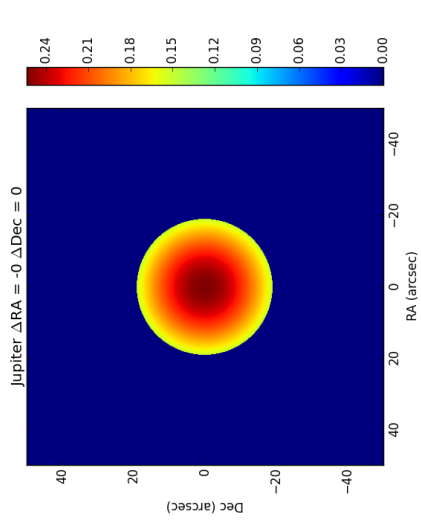


(d) radplot

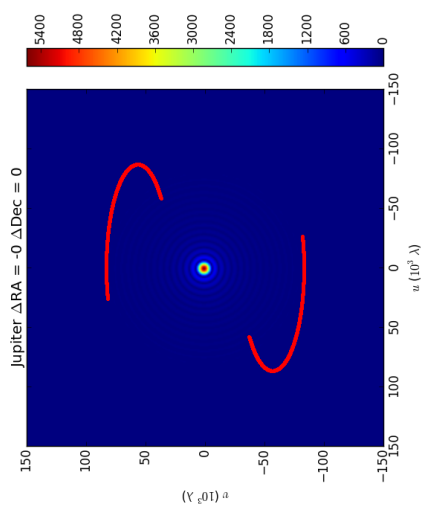


(e) vplot

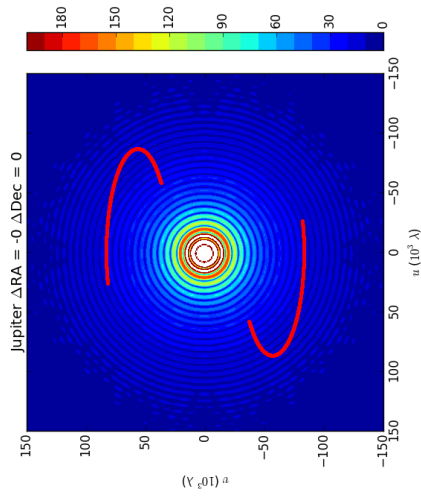
図 6 火星 オフセットなし



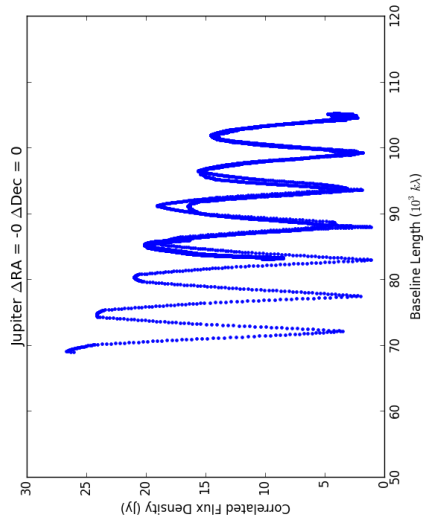
(a) Model Image



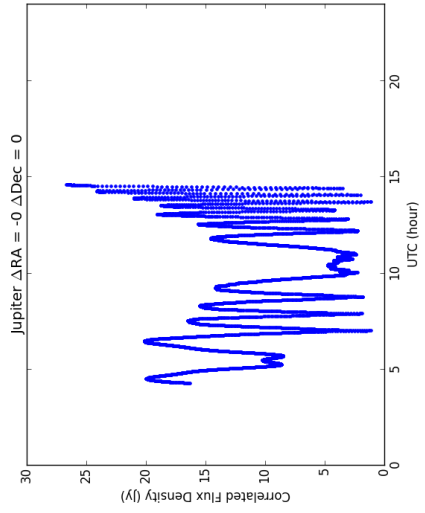
(b) Model Visibility (contour: min - max)



(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

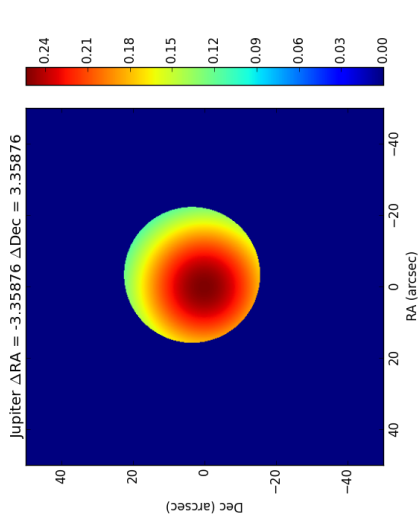


(d) radplot

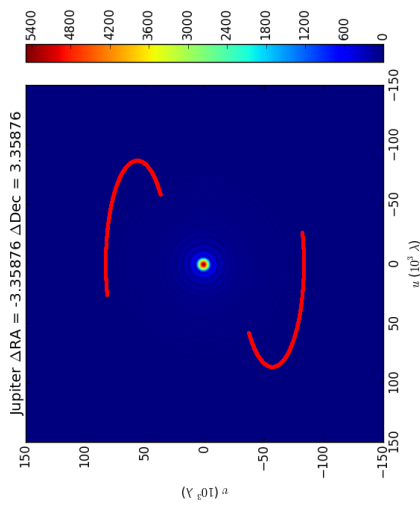


(e) vplot

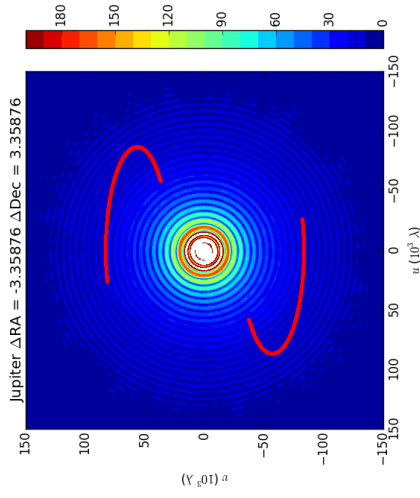
図7 木星 オフセットなし



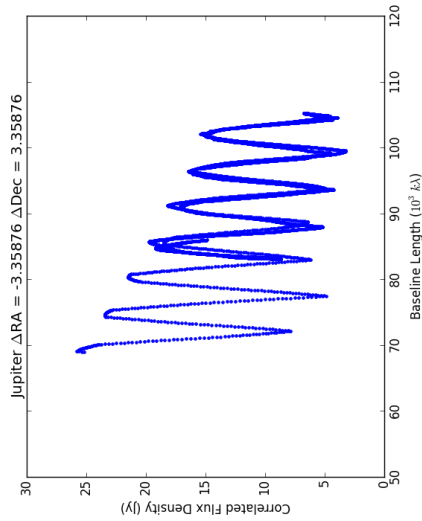
(a) Model Image



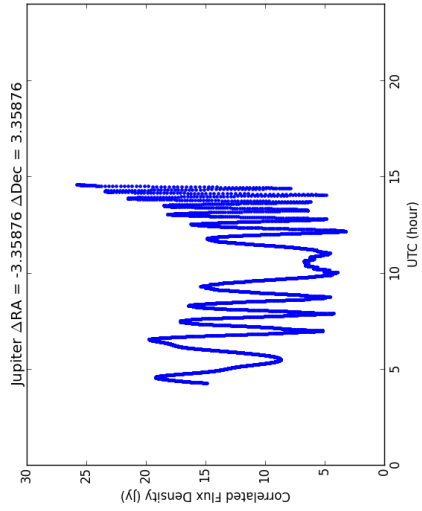
(b) Model Visibility (contour: min - max)



(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

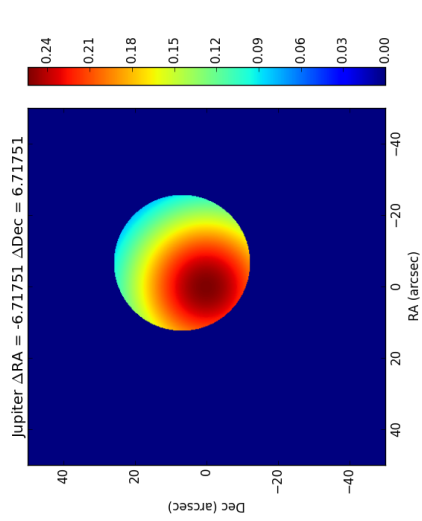


(d) radplot

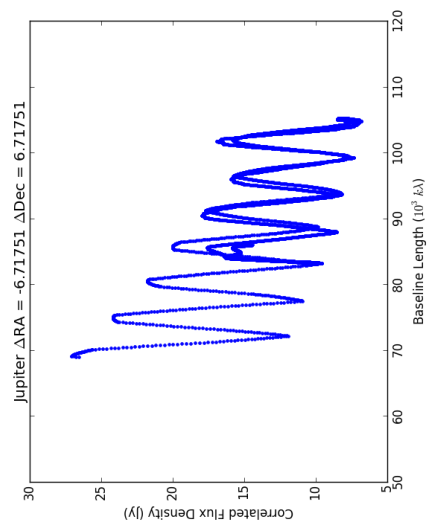


(e) vplot

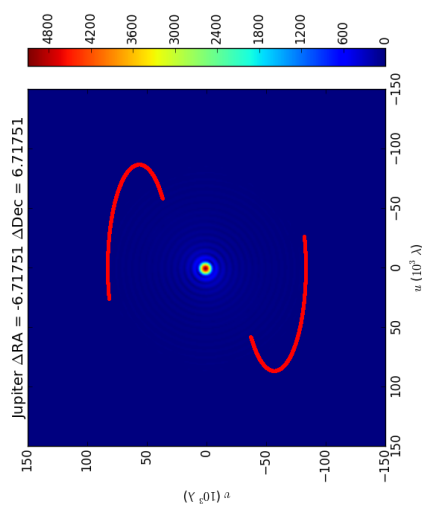
図 8 木星 1/8 直径分オフセット



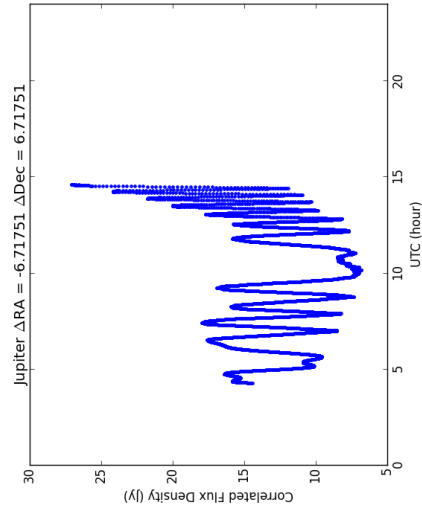
(a) Model Image



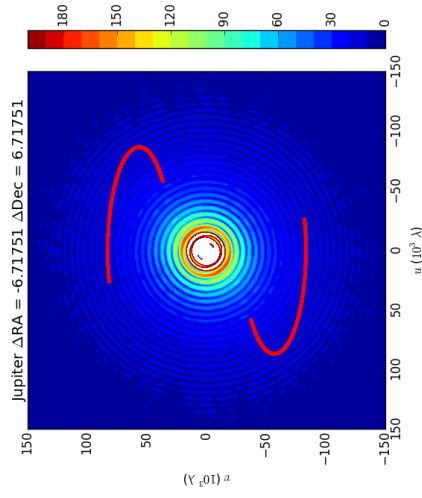
(d) radplot



(b) Model Visibility (contour: min - max)

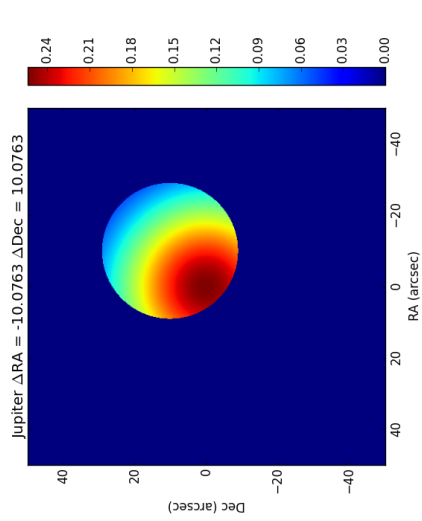


(e) vplot

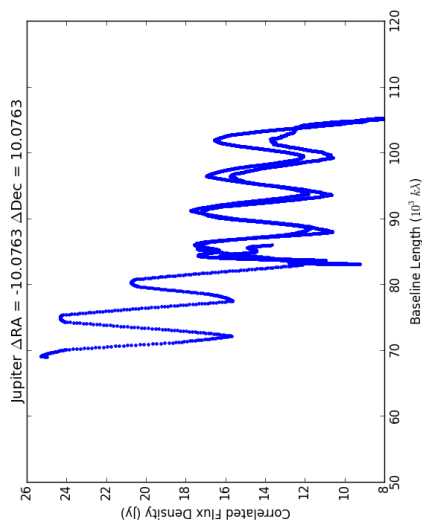


(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

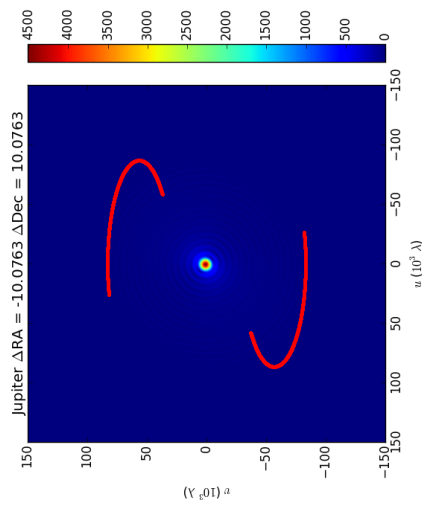
図9 木星 1/4 直径分オフセット



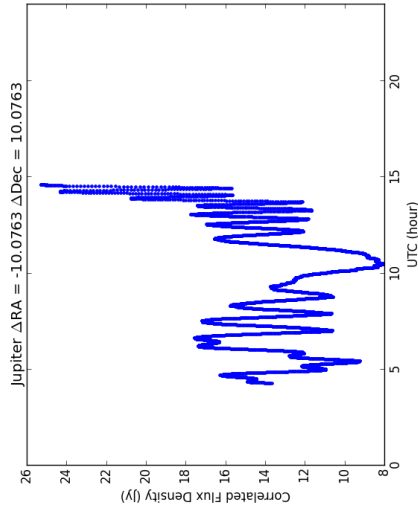
(a) Model Image



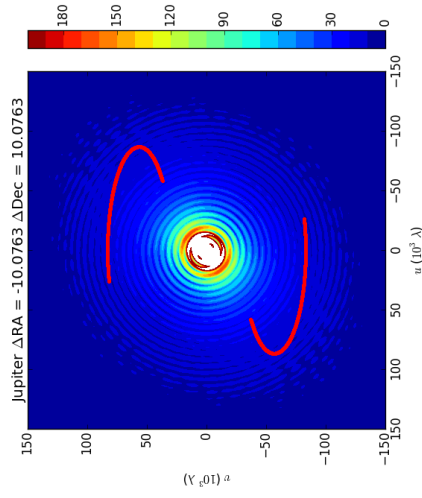
(d) radplot



(b) Model Visibility (contour: min - max)

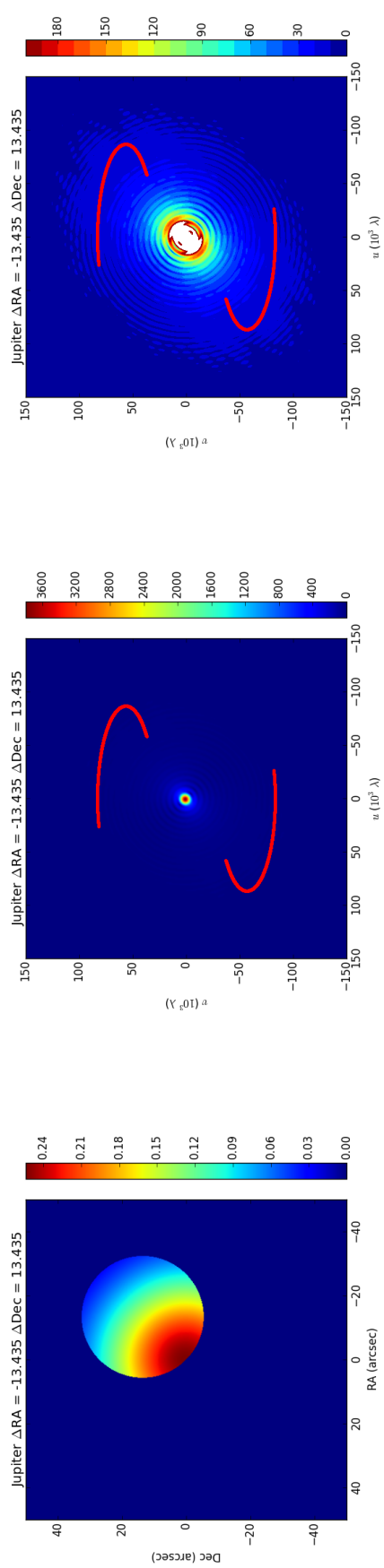


(e) vplot



(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

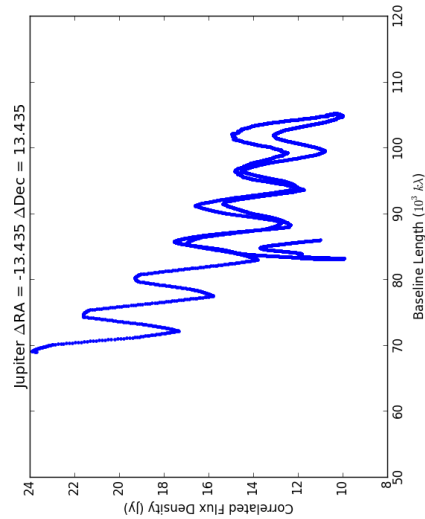
図 10 木星 3/8 直径分オフセット



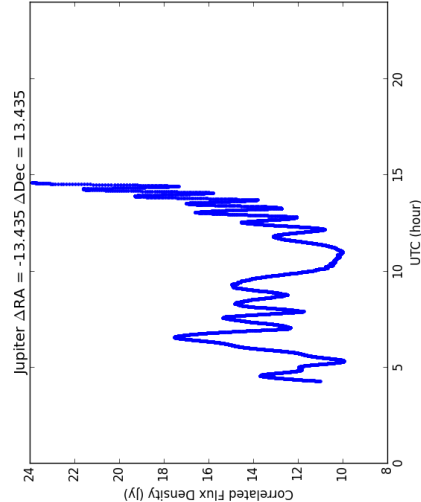
(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

(b) Model Visibility (contour: min - max)

(a) Model Image

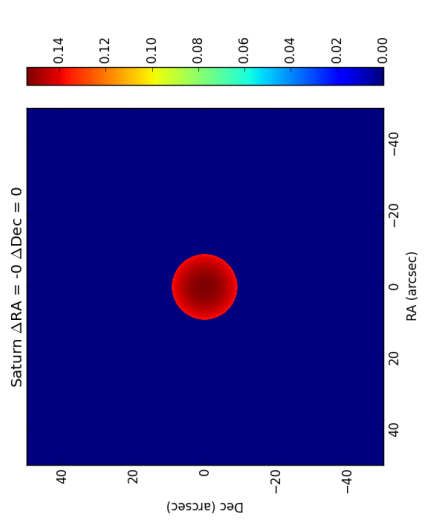


(d) radplot

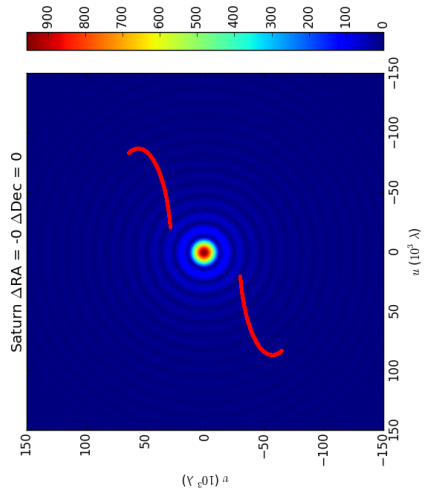


(e) vplot

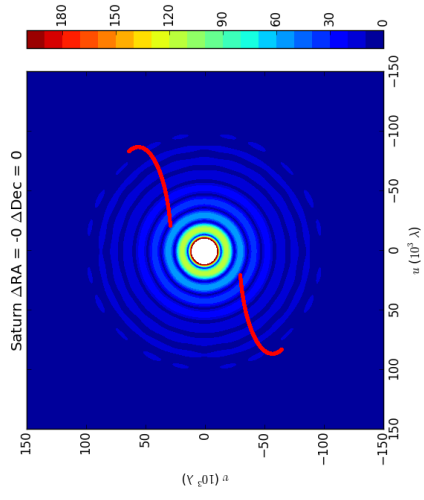
図 11 木星 1/2 直径オフセット



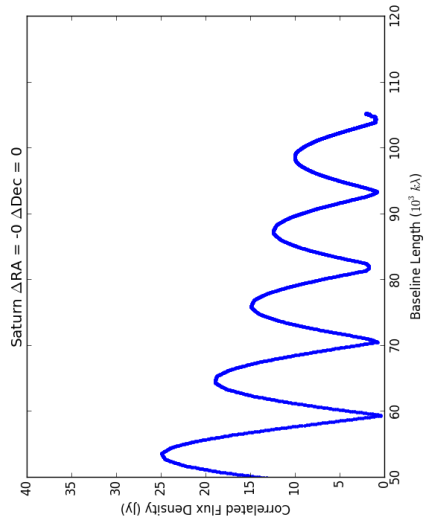
(a) Model Image



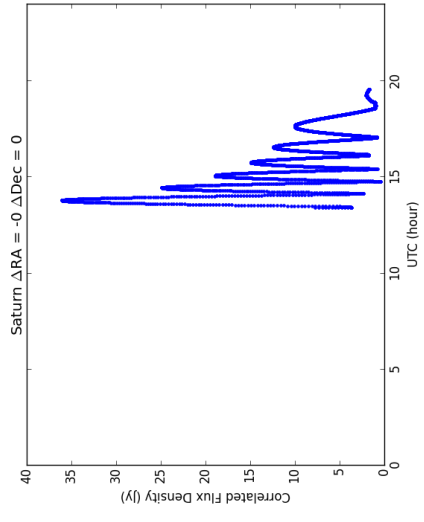
(b) Model Visibility (contour: min - max)



(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

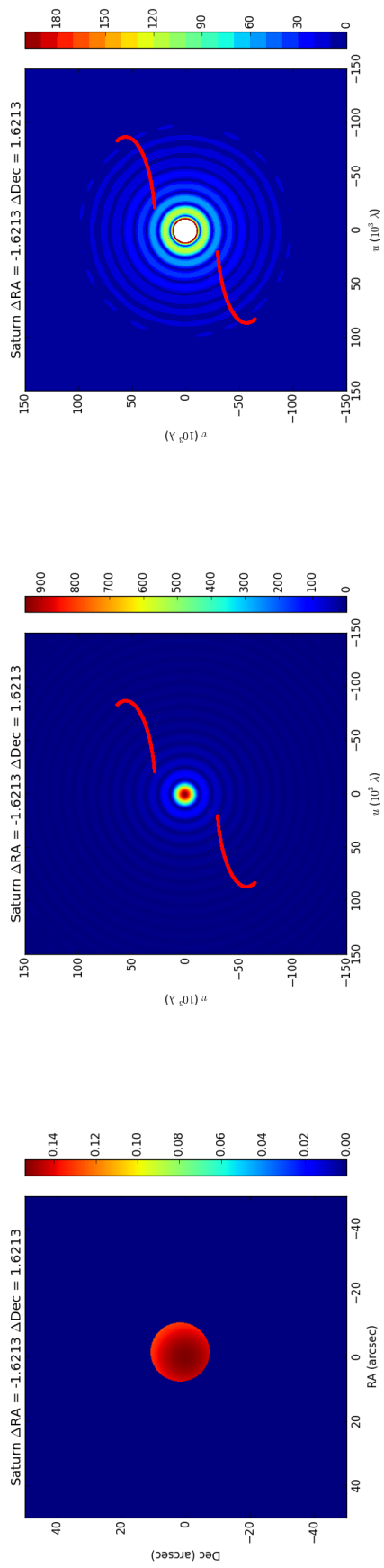


(d) radplot



(e) vplot

図 12 土星 オフセットなし



(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

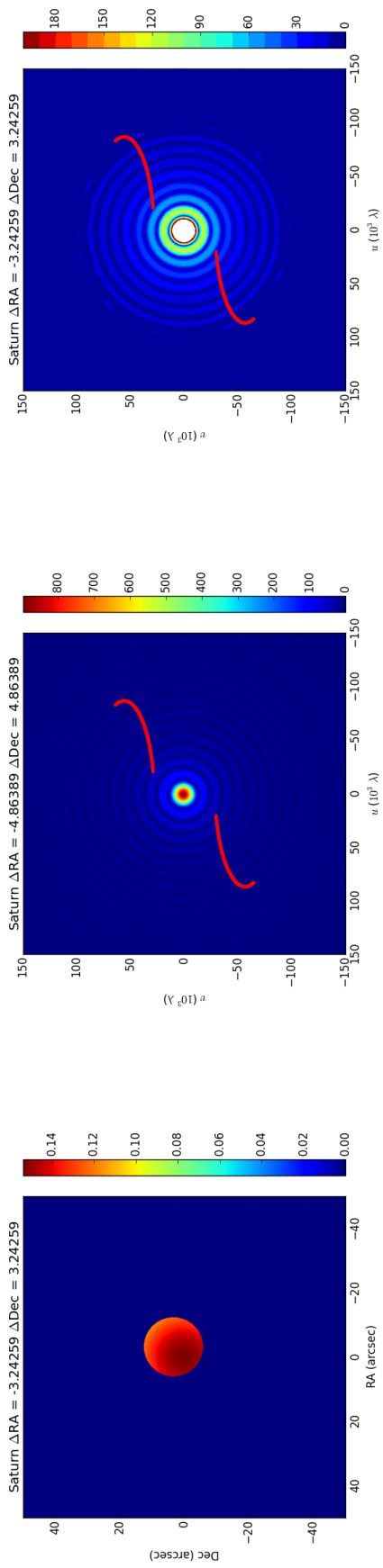
(b) Model Visibility (contour: min - max)

(a) Model Image

(d) radplot

(e) vplot

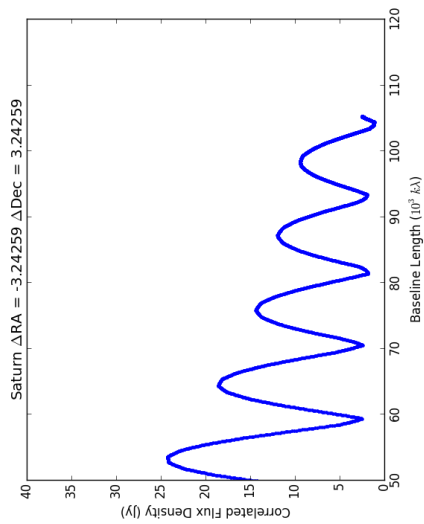
図 13 土星 1/8 直径分オフセット



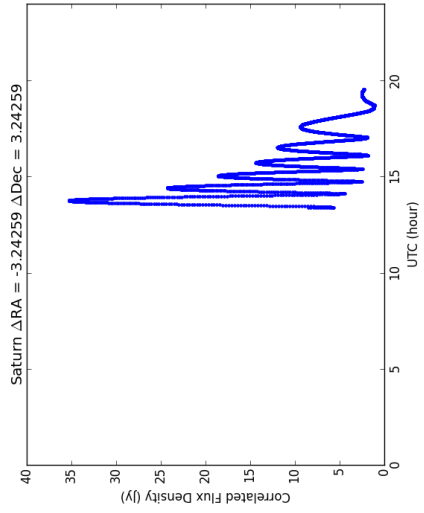
(a) Model Image

(b) Model Visibility (contour: min - max)

(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

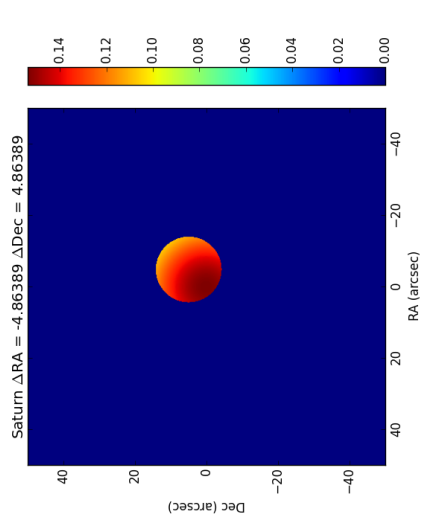


(d) radplot

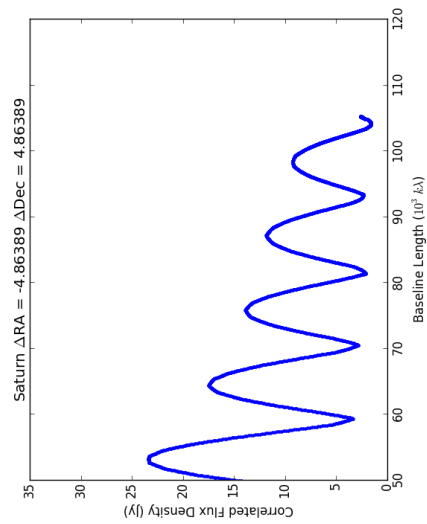


(e) vplot

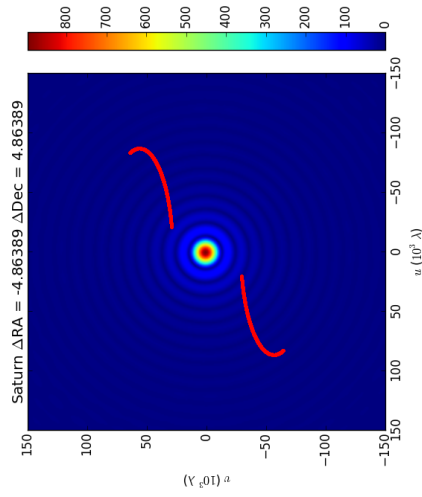
図 14 土星 1/4 直径分オフセット



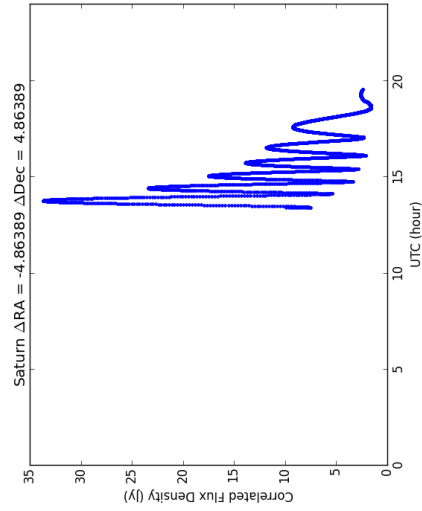
(a) Model Image



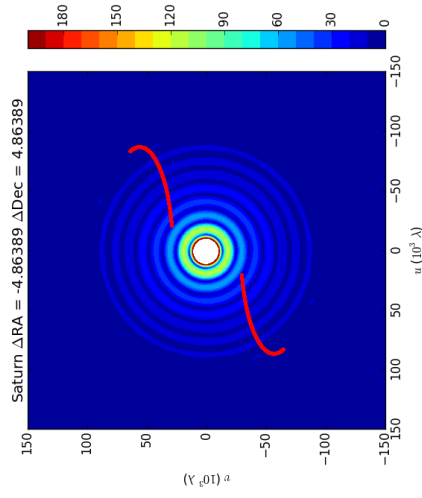
(d) radplot



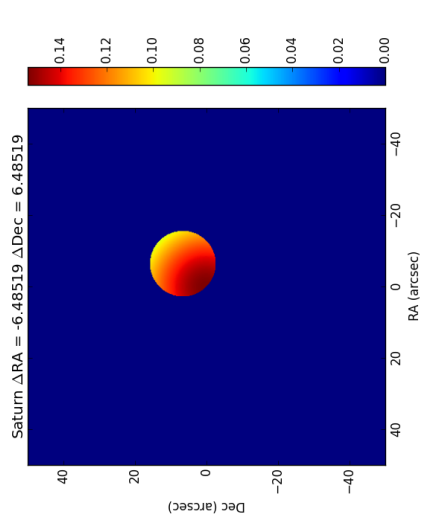
(b) Model Visibility (contour: min - max)



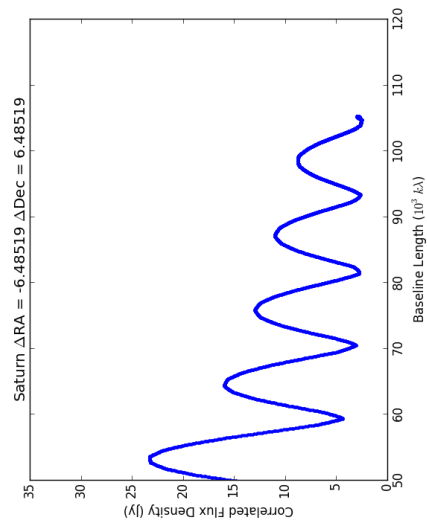
(e) vplot



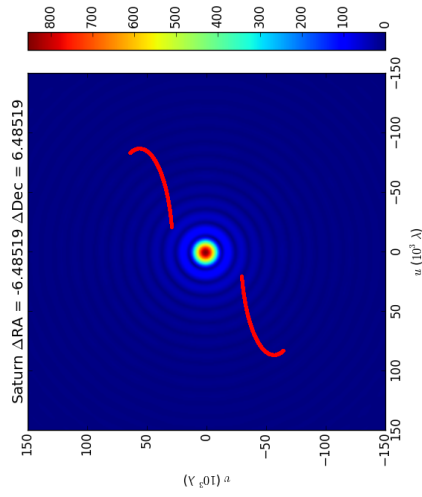
(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)



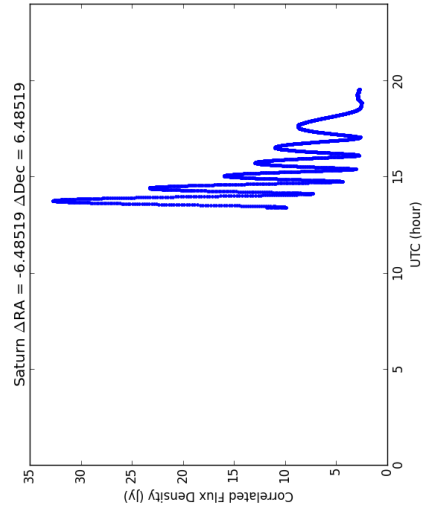
(a) Model Image



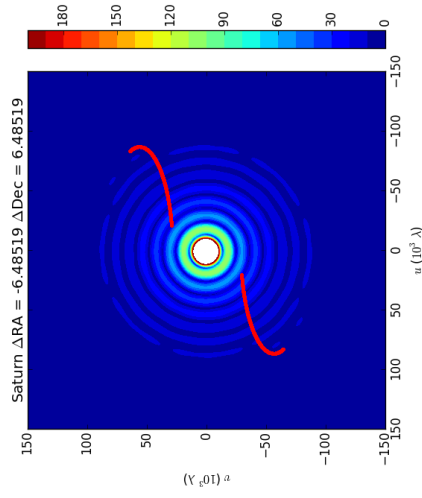
(d) radplot



(b) Model Visibility (contour: min - max)

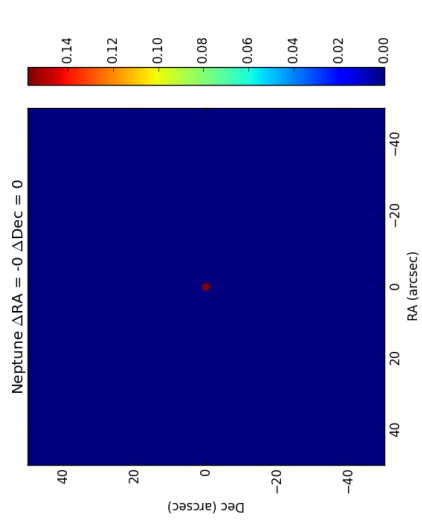


(e) vplot

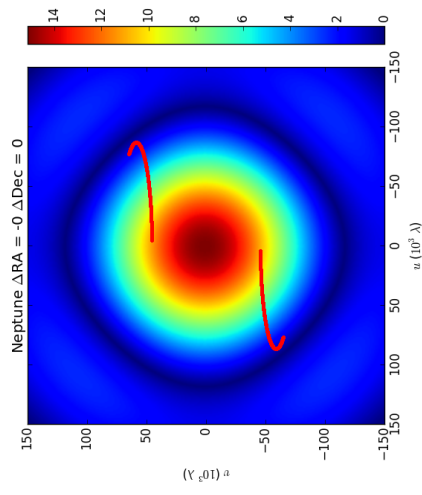


(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

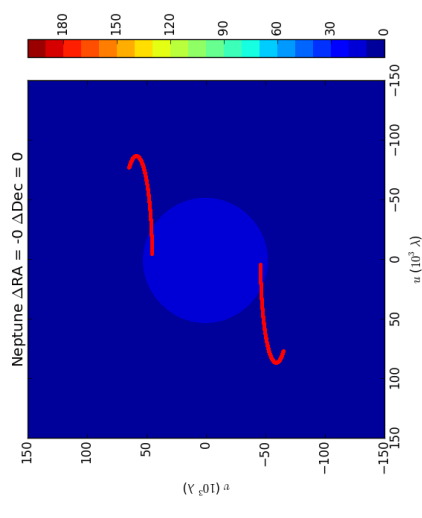
図 16 土星 1/2 直径オフセット



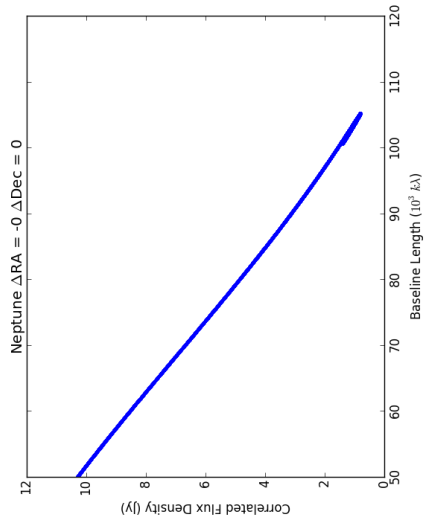
(a) Model Image



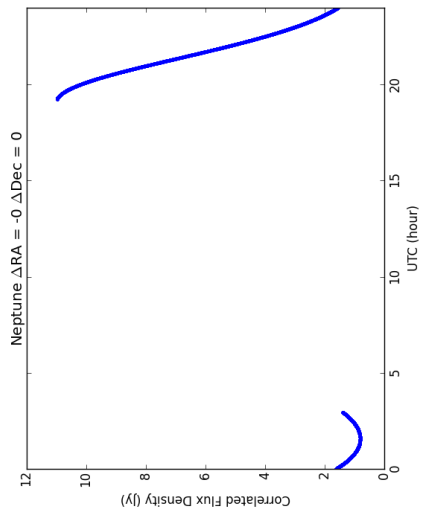
(b) Model Visibility (contour: min - max)



(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

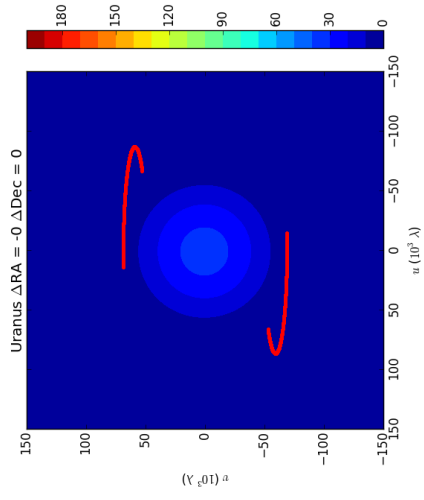
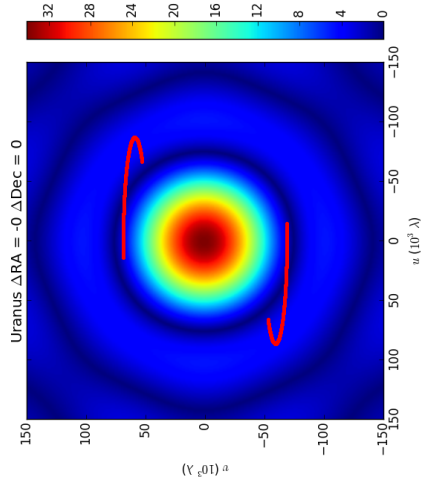
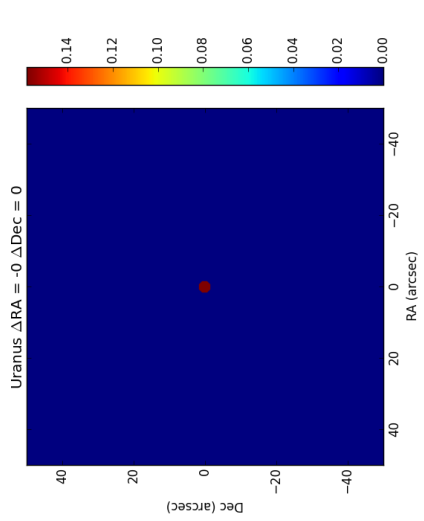


(d) radplot



(e) vplot

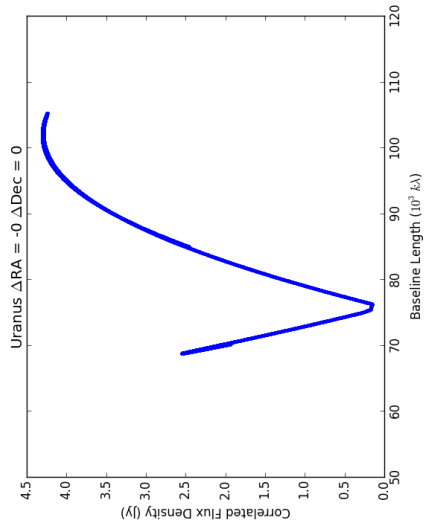
図 17 海王星 オフセットなし



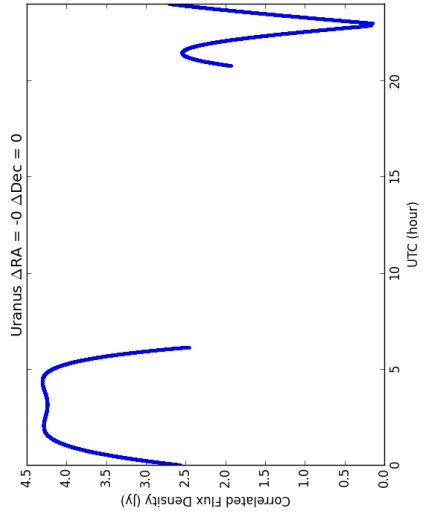
(a) Model Image

(b) Model Visibility (contour: min - max)

(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

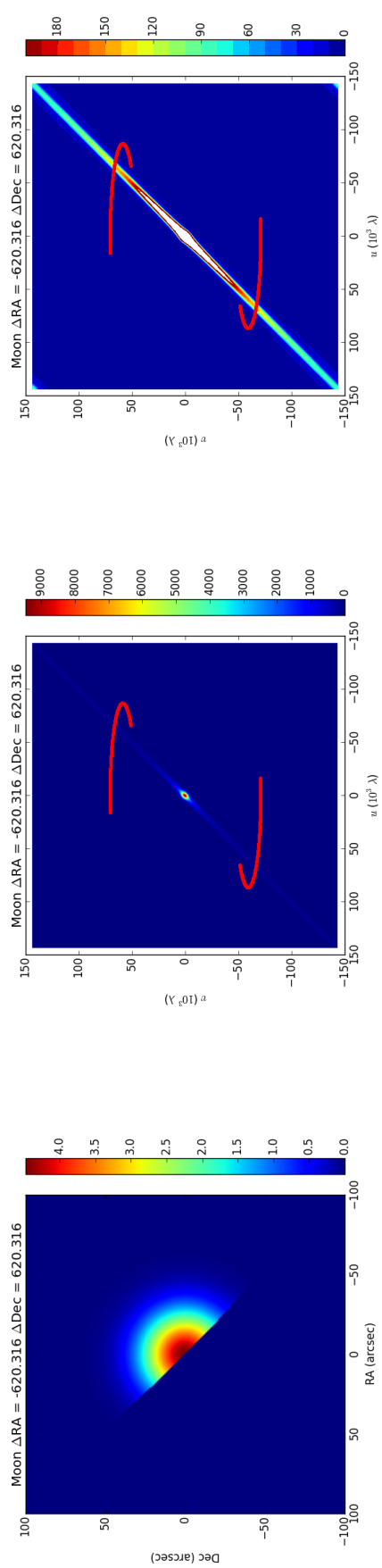


(d) radplot



(e) vplot

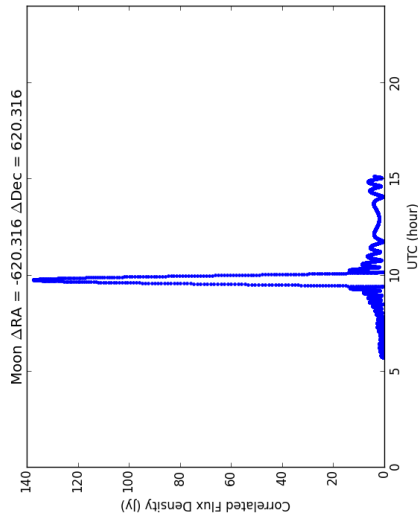
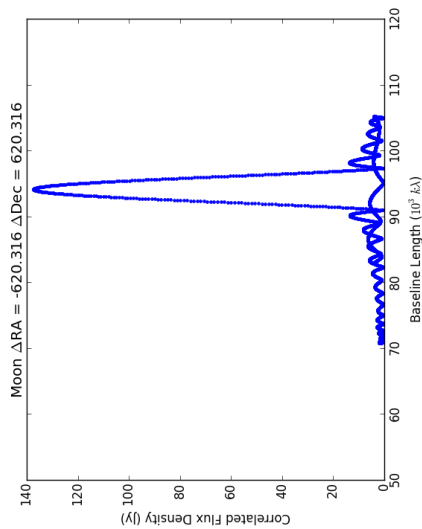
図 18 冥王星 オフセットなし



(c) Model Visibility (contour: 0 - 200 Jy)

(b) Model Visibility (contour: min - max)

(a) Model Image



(d) radplot

(e) vplot

図 19 月 1/2 直径分オフセット

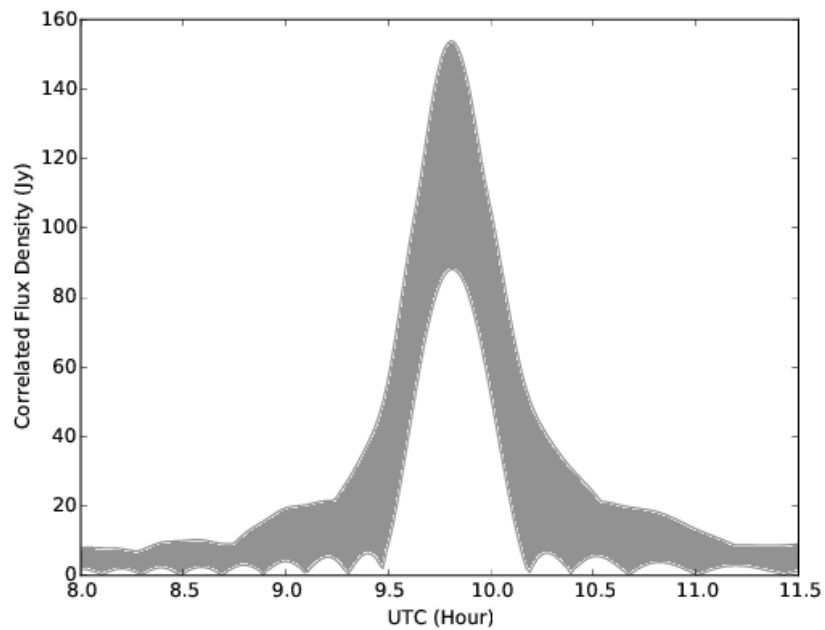
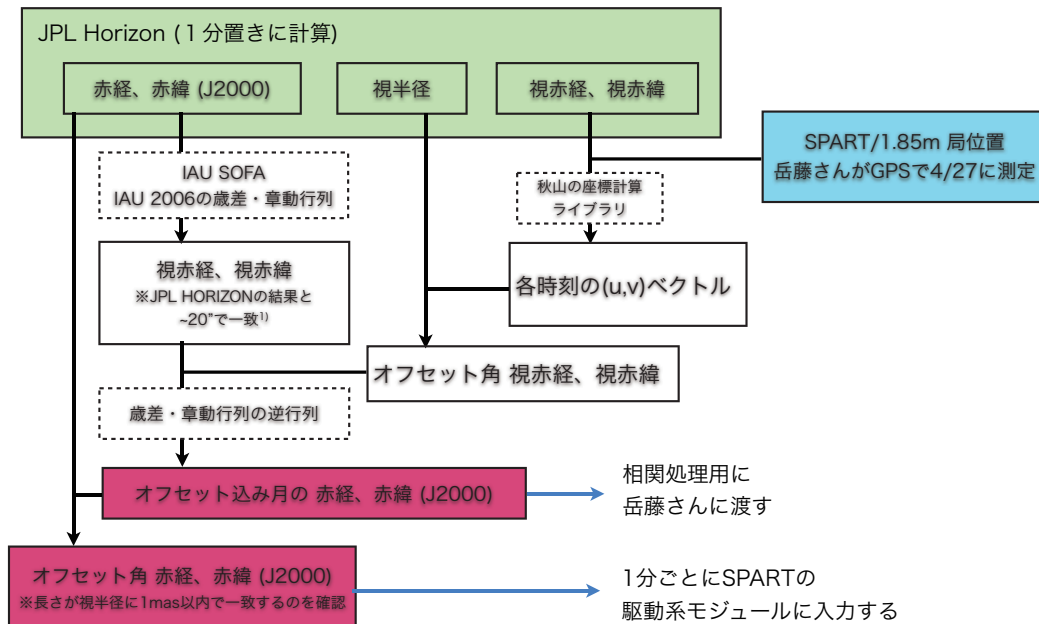


図 20 SPART のポインティングが 0-20" の範囲でずれた場合の相関フラックス密度の取りうる範囲。ポインティングが外れていても 90 Jy 程度の相関フラックスが期待できる。オフセットは固定しており、振幅が最大になるのは uv ベクトルがオフセットと平行になるときである。



¹⁾ オフセット角の方向に20"の誤差が生じるとは言えないが、たとえこのレベルの誤差がオフセット角に最終的に乗ったとしても $20'' / (\text{月の半径} = 850'') \sim 1^\circ$ でオフセット角的には問題がなかったなのでこの方法を採用した。

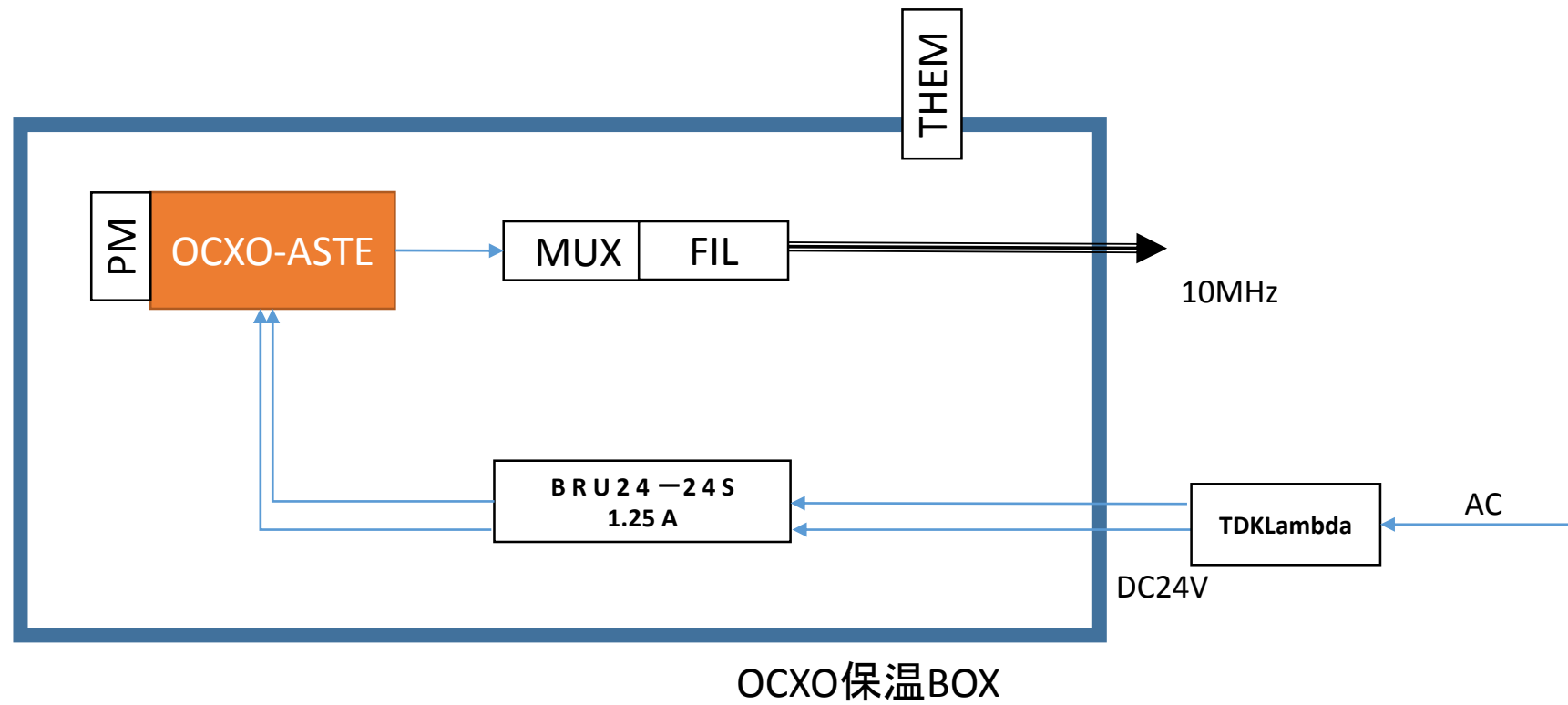
図 21 追尾座標の計算方法

OCXO系接続図

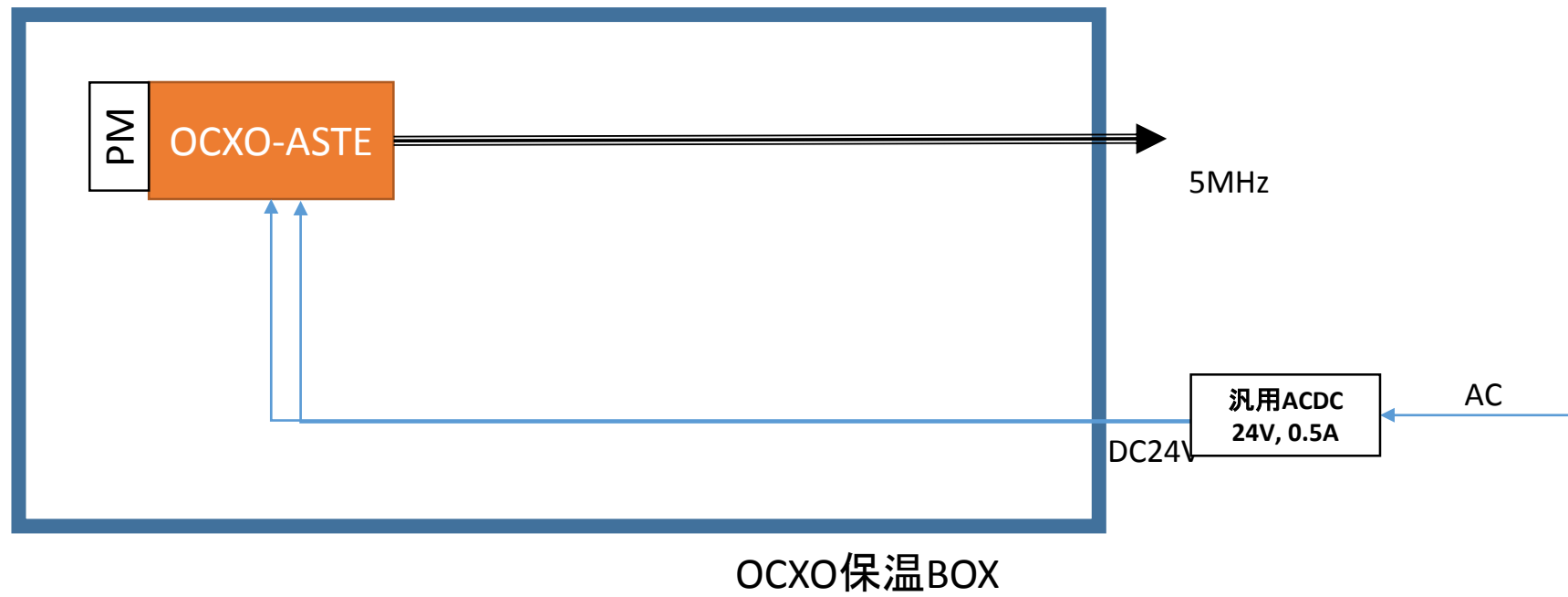
国立天文台河野裕介

15.04.10

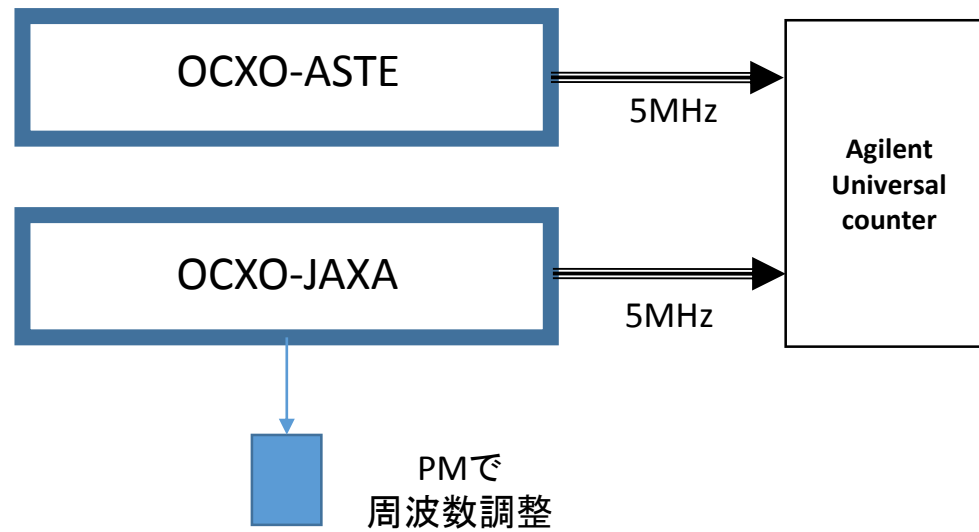
OCXO-ASTE系接続図



OCXO-JAXA系接続図



周波数比較系



機材リスト

機材	発送元	コメント
OCXO-ASTE	相模原	
OCXO-JAXA	相模原	オリジナルPM,コネクタ付
OCXOASTE用DCケーブルコネクタキット	相模原	
TDKケーブルコネクタキット	相模原	
MiniCircuit 逡倍器	相模原	
MiniCircuit BPF	相模原	
保温BOX 2個、(大+小)	相模原	
DCDC B R U 2 4 - 2 4 S 1.25 A	相模原	ケーブルキットと切り離せないですが
温度計 MONOTARO	相模原	
ACDC HWS150-24/A	相模原	ACケーブルくっついてる
ACDC 汎用	相模原	
SMAケーブル 何？	相模原	
Agilent Universal Counter	水沢	ACケーブルつき
SMA BNC 変換アダプタ	相模原	2個 カウンタ用
Septentrio GPS RCV	相模原	
Septentrio GPS RCV 電源ユニット	相模原	
GPSアンテナ+TNC変換コネクタ付	相模原	TNCコネクタ重要
BNCケーブル(GPS用)	相模原	長さ不明10m程度？
テスタ(サーミスタ用・抵抗計測)	相模原	1.358kΩあたりのはず
Septentrio GPS 用VAIO PC (河野所有)	相模原	ACDC電源も。PHASEMATRIXもこれで動かせる
RS232C USB変換ケーブル	相模原	
Phase MATRIX キット2箱組(予備SG)	相模原	箱ごと。ACDC, USB変換コネクタ、

ファイバ引き回しルート



干渉計棟
Interferometer
Building (IB)

SPART10m
望遠鏡

ファイバ経路

要所⑤

要所④

要所③

1.85m
望遠鏡

要所②

要所①

野辺山宇宙電波観測所



引き回し要所

要所①



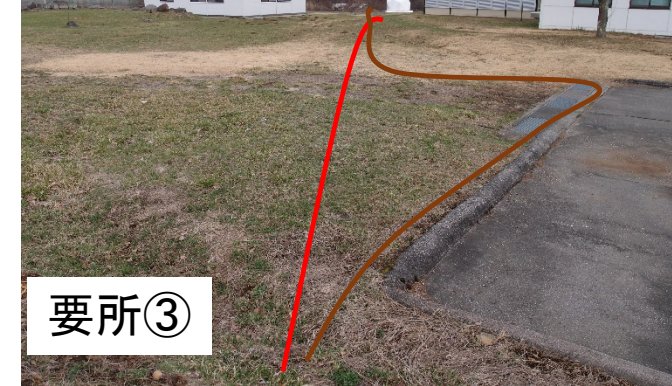
1.85m望遠鏡観測棟からの道を渡るところは排水溝下を通す。

要所②

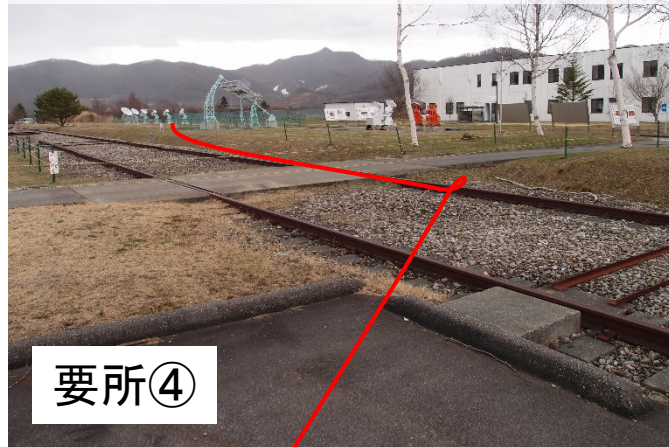


ヘリオグラフ棟前の駐車場一芝生の境のところは、車が通らなければケーブル保護をして赤の直線的敷設、車が通るなら茶色の側溝下を渡る。野辺山の方と要相談

要所③



踏み切りは、線路のレール溝を通して道路を渡るように敷設する。



要所④

SPART望遠鏡の下からファイバを入れる。

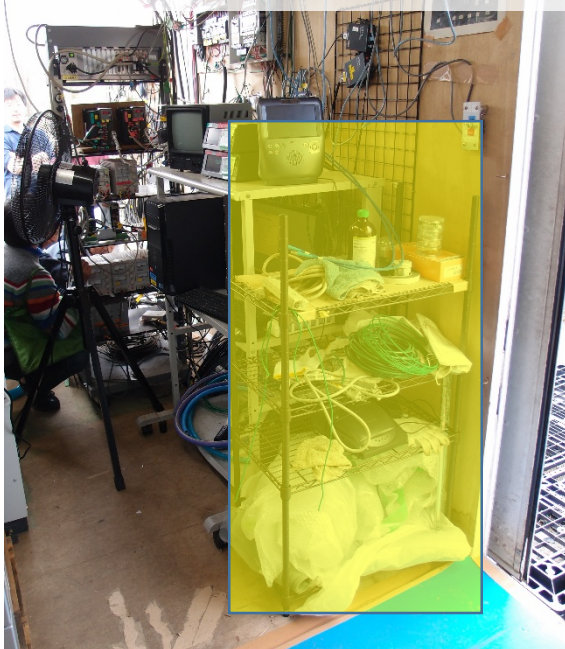


要所⑤

観測装置設置予定場所

1.85m望遠鏡の観測棟内

ここにラックを置いていただければ、
信号がすぐそこまで来ている。。



干渉計棟(IB)の建物内

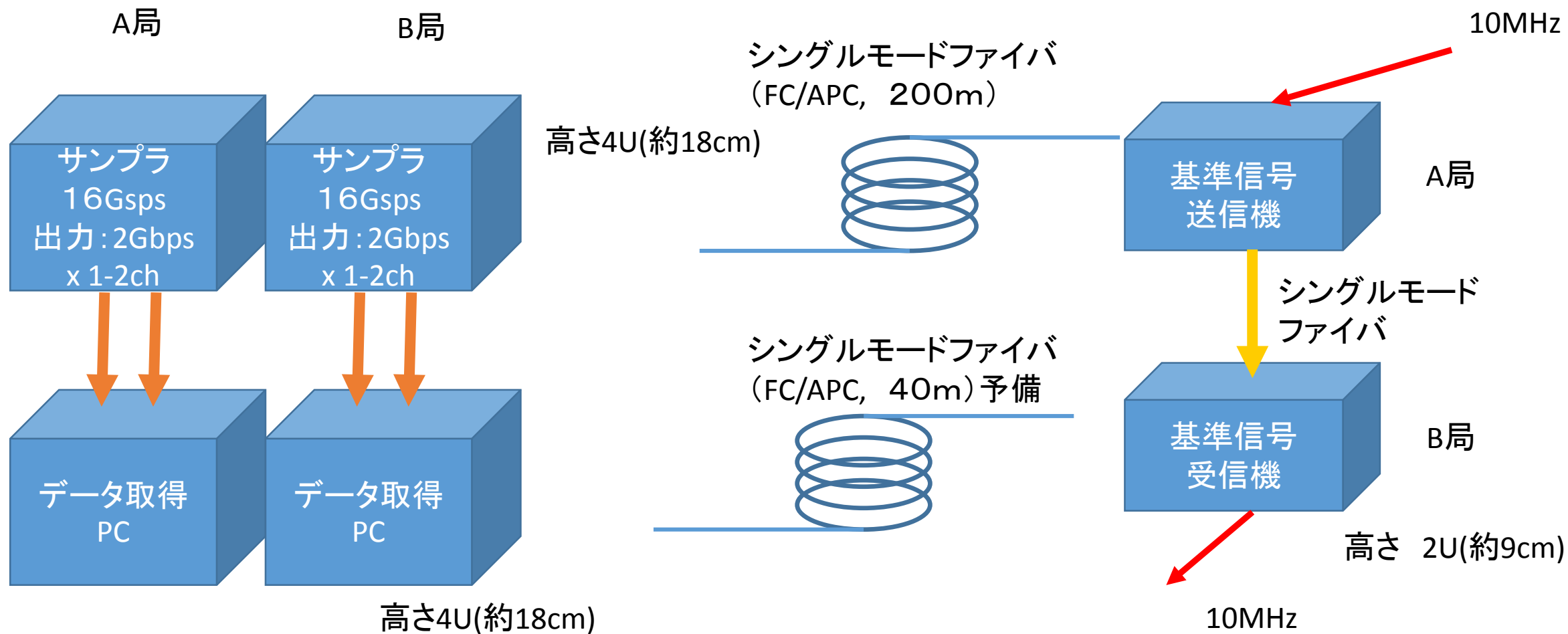
SPART望遠鏡からの信号(10MHz,IF信号)を窓から引き込み、サンプラに接続する。機器は机の上に設置させてもらう。



鹿島からもって行くもの

機材	名称・長さなど	数量
サンプラ	GALAS	2台
PC		2台＋RAID-HDD2式
基準信号伝送装置	送信部、受信部	各1式
タイムインターバルカウンタ	SR620	1台
ファイバ	200m、40m、 FC/APCのコネクタ(JJ)	小金井より
BNCケーブル	10m～30m 5m程度 2m程度	2-3本 数本 数本
SMAケーブル	2－3m	数本
ケーブル保護管	あるだけ	
コネクタ、アッテネータなど	適当に	

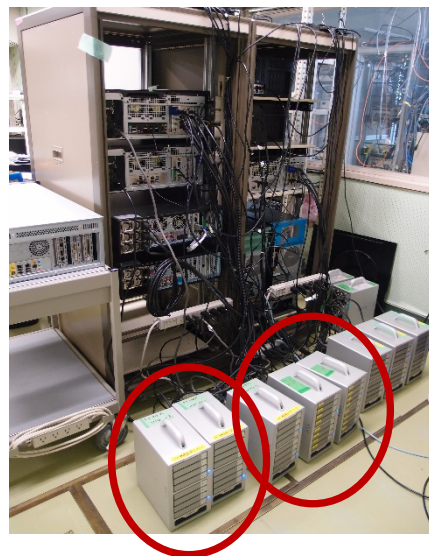
NICT鹿島から持ち込みできると想定している機材



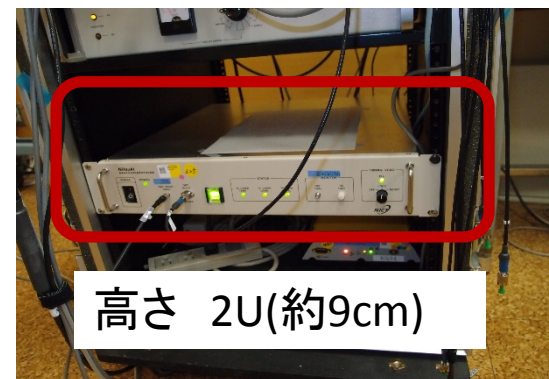
装置実態写真

データ記録用PC(2式)の表・裏面 実態
写真。 RAID-BOX 2-3個で1式を構成
PCの高さ: 約18cm

ダイレクトサンプラ GALAS
高さ: 4U(約18cm)



基準信号(10MHz)送信部
受信部もほぼ同じ大きさ、
同じ外観



高さ 2U(約9cm)

MICE2015：相関処理まとめ

2015年5月7日

NICT 岳藤

概要

- 野辺山構内の230GHz受信アンテナ（大阪府大SPART & 1.85m）でVLBI実施した
- 日時：2015年4月27日：JST18時～24時
- 周波数230GHz～231.024GHzをDC-1024MHzにダウンコンバート
- 上記の信号を2048Msps1bit記録（256MB/1sec）
- ソフト相関処理 by GICO3

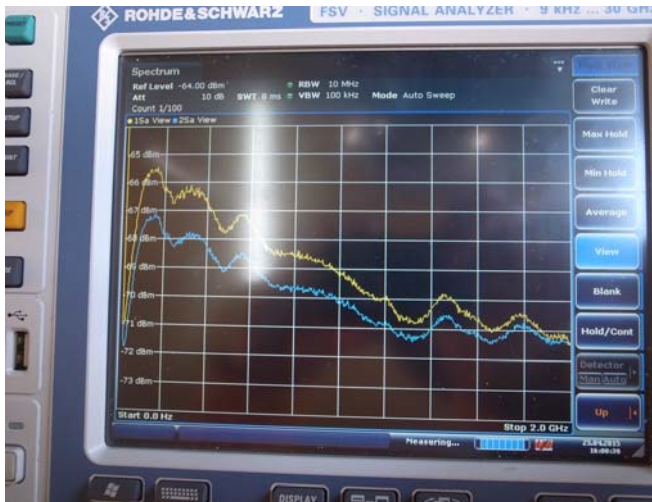
VLBIデータ一覧

時間(UT)	記録時間	備考
2015/117 09:20:00	60秒	フリンジテスト: SPART&1.85で月のトラッキング開始
2015/117 09:40:00	60秒	同上
2015/117 10:00:00	60秒	同上
2015/117 10:20:00	60秒	同上
2015/117 10:40:00	3600秒	フリンジが確認できたため、長時間記録
2015/117 13:35:00	300秒	1.85mにOCXOを設置
2015/117 14:30:00	300秒	SPART&1.85の両方にOCXO設置

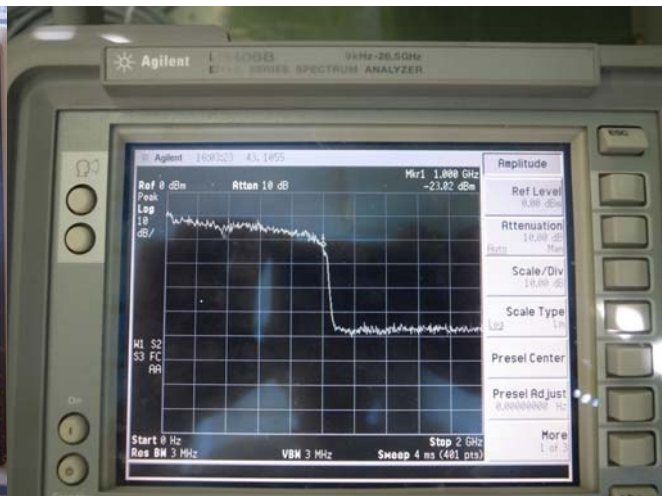
局位置

- Googleマップで緯度経度を取得。別サイトで高度を求めフリンジテストに臨んだ。BLHからXYZに座標を変換した
 - SPART
 - <x>-3871027.07901
 - <y>+3428297.18017
 - <z>+3723751.40107
 - 1.85
 - <x>-3871140.61616
 - <y>+3428248.60537
 - <z>+3723668.35977
- その後、GPS測定で高度が50m低かったので別途XYZをもとめた
 - SPART
 - <x>-3871061.02022
 - <y>3428327.23952
 - <z>3723784.27096
 - 1.85
 - <x> -3871174.55840
 - <y>3428278.66433
 - <z>+3723701.22896

2局のIF信号 (230-231GHz)

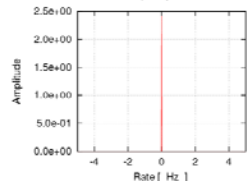
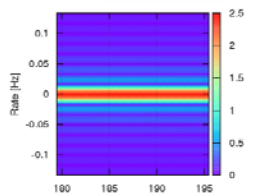
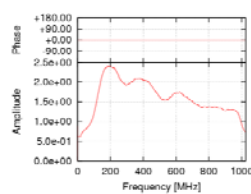


1.85mのR-Skyで約1.5dBの差を確認@晴天時
周波数特性は0-1GHzで3dB程度の差



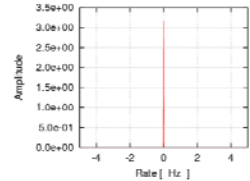
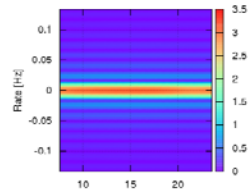
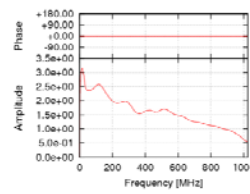
SPART側のバンキャラ
周波数特性は0-1GHzで8dB程度の差

2局の信号 (サンプリング後)



Epoch : 2015/117 09:20:00
Station-1: M185
Station-2: M185
Source : moon0920
Length : 59.999943[sec]
Sampling : 2048000000[sp]
Frequency: +230000.000000[MHz]
Peak Amp : 241.276632[%]
Peak Phs : -0.000000[deg]
Peak Freq : +187.492920[MHz]
Rate : +0.000000[mHz]
SNR : 271.869101

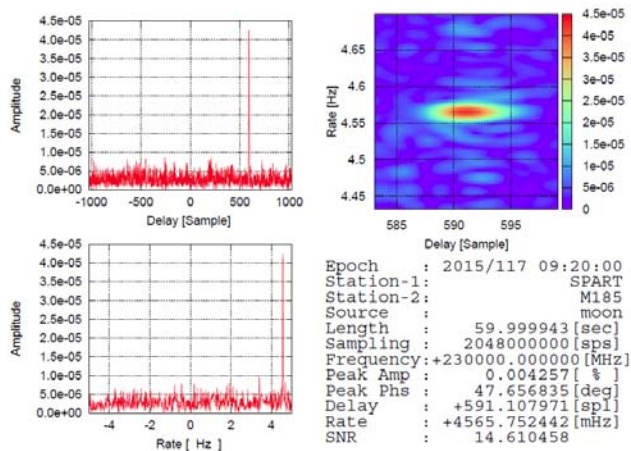
1.85mバンドキャラクタ



Epoch : 2015/117 09:20:00
Station-1: SPART
Station-2: SPART
Source : moon0920
Length : 59.999943[sec]
Sampling : 2048000000[sp]
Frequency: +230000.000000[MHz]
Peak Amp : 315.094851[%]
Peak Phs : 0.000001[deg]
Peak Freq : +15.587311[MHz]
Rate : +0.000000[mHz]
SNR : 345.143348

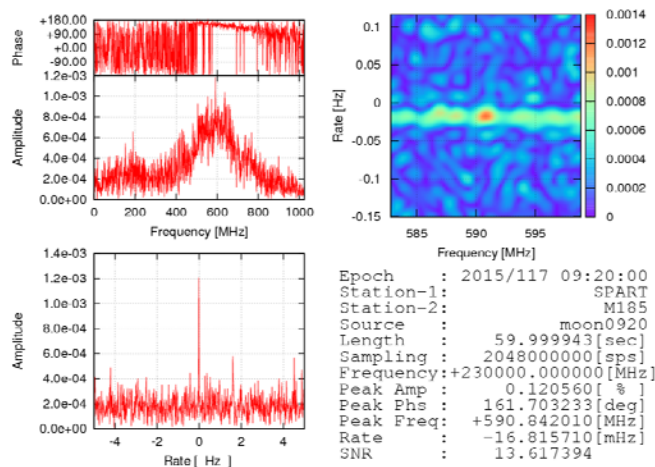
SPARTバンドキャラクタ

祝ファーストFRINGE



- 16k点100HzでFRINGEサーチ
- 10秒程度で淡いFRINGEが見つかる
- DelayとRateを調整、2k点10Hzで出力
- ※パラメータを合わせるとSNRはより向上

SPART-1.85m : クロススペクトル



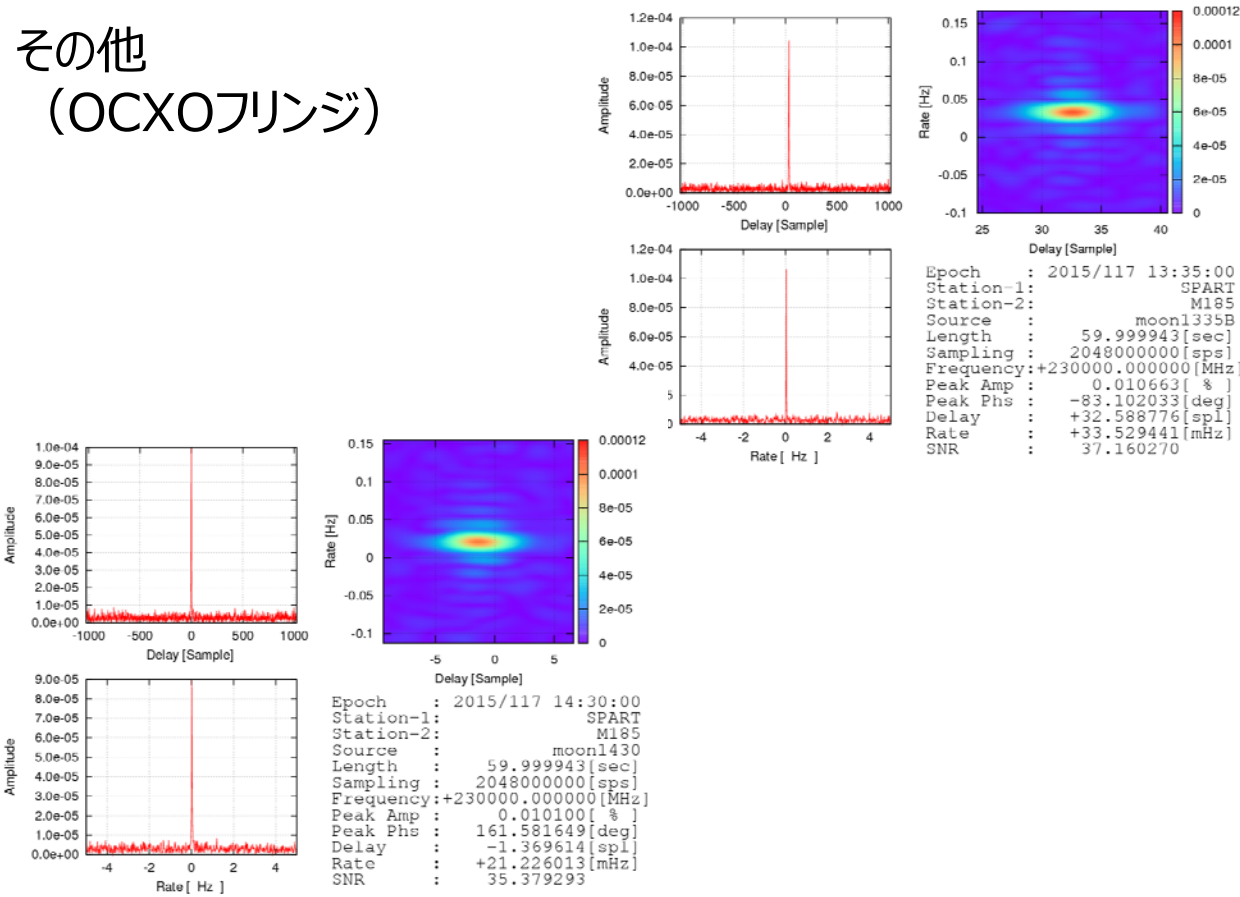
- 帯域の真ん中に感度があるようだ
- CWなどのスプリアスは見られない
- よってFRINGEは本物

簡易相関処理結果

Date	Time	Sec	SNR	Rate[s/s]
2015/117	09:20:00	60.00	40.4	-0.02772
2015/117	09:40:00	60.00	40.8	-0.34242
2015/117	10:00:00	60.00	40.5	-0.61369
2015/117	10:20:00	60.00	40.1	-0.83935
2015/117	10:40:00	60.00	39.7	-1.01825
2015/117	11:00:00	60.00	37.4	-1.14841
2015/117	11:20:00	60.00	39.3	-1.22875

- ・SPART側で-4.18μ秒のクロックオフセット、2.413e-11のRateを与えている(09:20で最適化)
- ・相関処理で与えた月の位置はオフセット移動後のもの
- ・それでもRateが変動しており、局位置などの誤差が効いているかもしれない(局位置か大気など、原因の分離はむずかしいだろう)

その他 (OCXOフリンジ)



謝辞

- MICE実験では多くの方のご協力ご指導を得て、実験を成功に導くことができました。ここに感謝いたします。

MICE2015:VLBI観測システム

2015年5月7日
NICT 岳藤、堤、関戸

概要

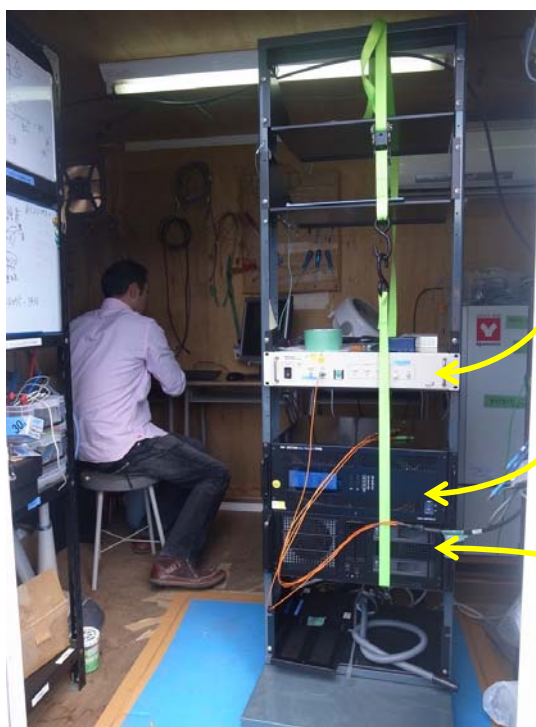
- 野辺山構内の230GHz受信アンテナ（大阪府大SPART & 1.85m）にVLBI機器を設置する
- VLBI機器
 - ①10MHz基準信号：光伝送装置
 - 基準信号をSPARTから1.85mに伝送
 - ②VLBIバックエンド
 - ダイレクトサンプラGALAS
 - K6記録サーバー
 - ③1PPS：GPS
 - 藤沢さん、米倉さん、河野さん、土居さんにより設置

光ファイバ敷設

モールでカバー



1.85mバックエンド

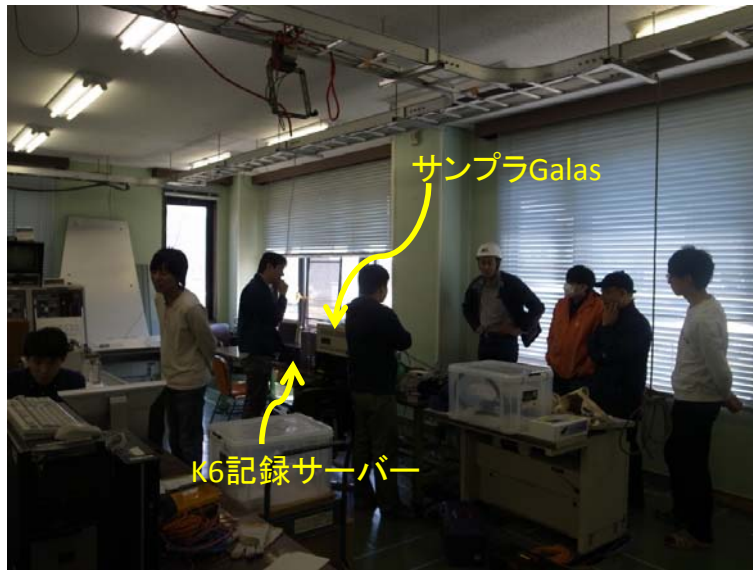


光伝送装置 (Receiver)

サンブラGalas

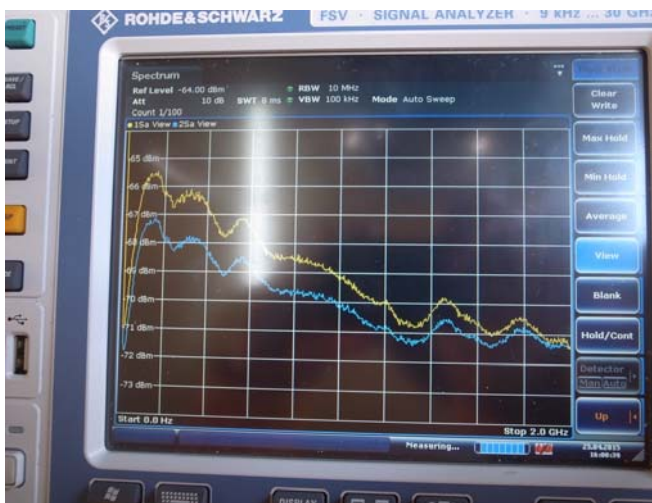
K6記録サーバー (背面にRAID)

SPARTバックエンド

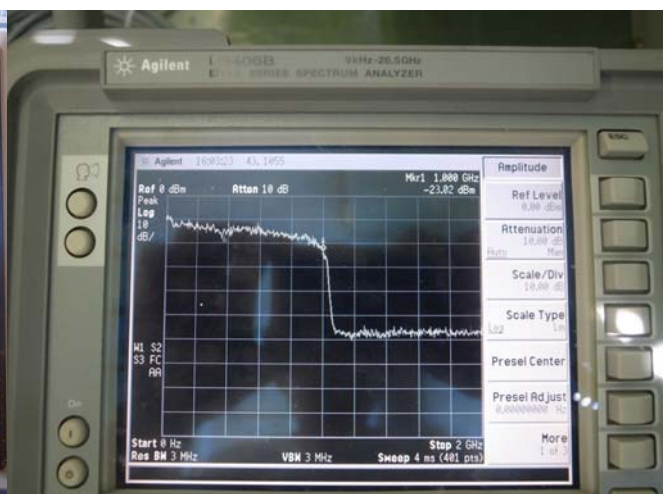


※寄った写真がないので、
写真ある方はください！

2局のIF信号（230-231GHz）



1.85mのR-Skyで約1.5dBの差を確認@晴天時
周波数特性は0-1GHzで3dB程度の差



SPART側のバンキャラ
周波数特性は0-1GHzで8dB程度の差

記録システム

- DC-1GHzのIF信号を2048Msps1bit記録
- 事前にADC3bitの量子化雑音を最適化するため、レベル調整（17%33% 付近）をおこなった
 - しながら、月の仰角が下がるにつれて大気による雑音が増え深夜には25%,25%程度まで悪化していた

その他

- 1.85mは定在波抑圧のため、コーナーキューブの振動器が設置。VLBIでは遅延が揺れてしまうため、停止した
- 1.85mの偏波が不明なため、SPART望遠鏡受信部のポラライザを取り外した

謝辞

- MICE実験では多くの方のご協力ご指導を得て、実験を成功に導くことができました。ここに感謝いたします。

補足：光伝送装置事前調査

- ローカル系（ゼロベース）で光伝送装置の調査
- 光伝送装置の送信/受信を設置、それぞれ20mの光ケーブルで接続。このときの安定度をDMTDで測定



1時間程度の測定で、
10⁻¹³@ 100秒以下を確認

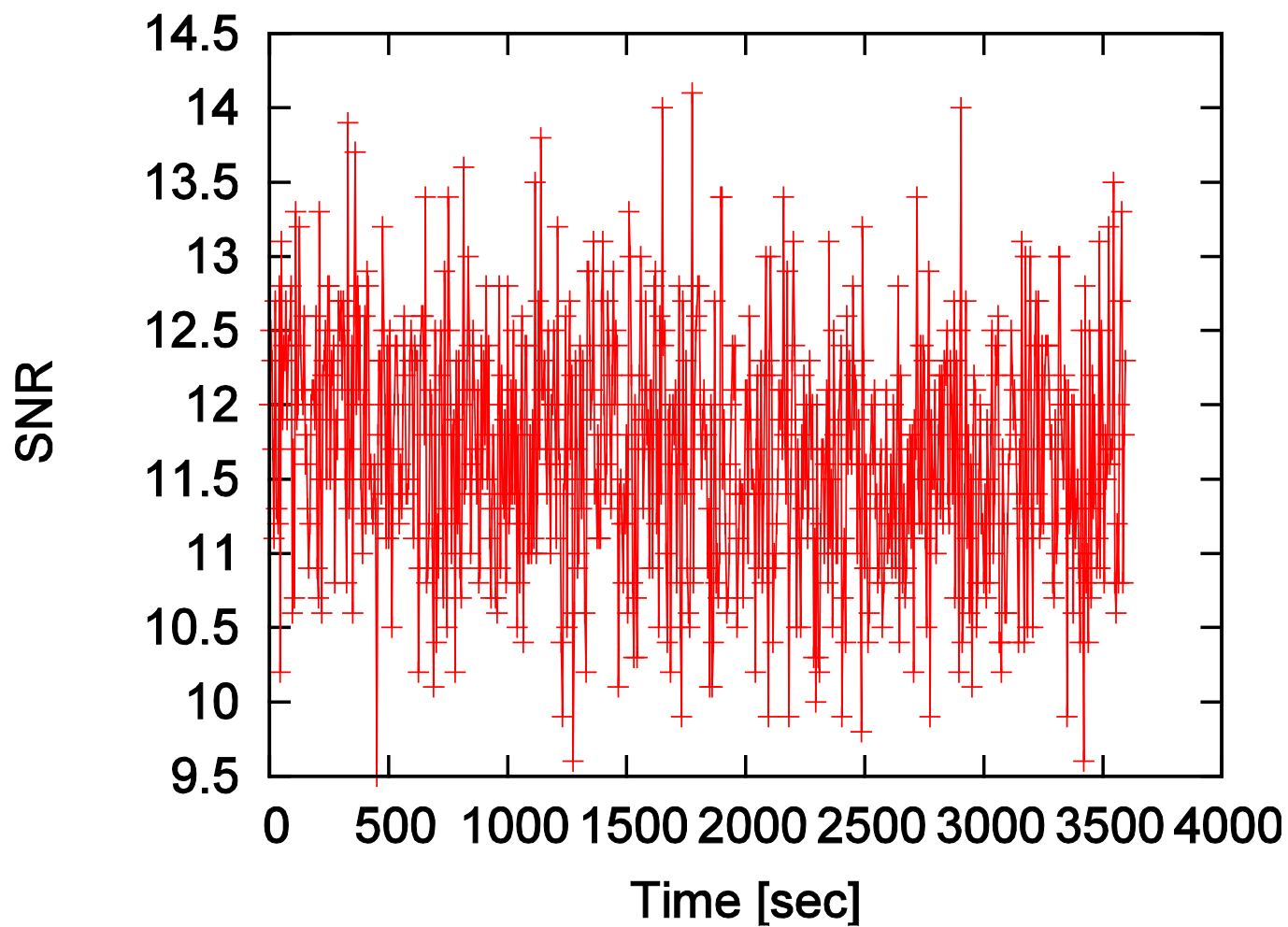
月の1時間追尾観測 相関処理まとめ

2015年5月11日 NICT 岳藤

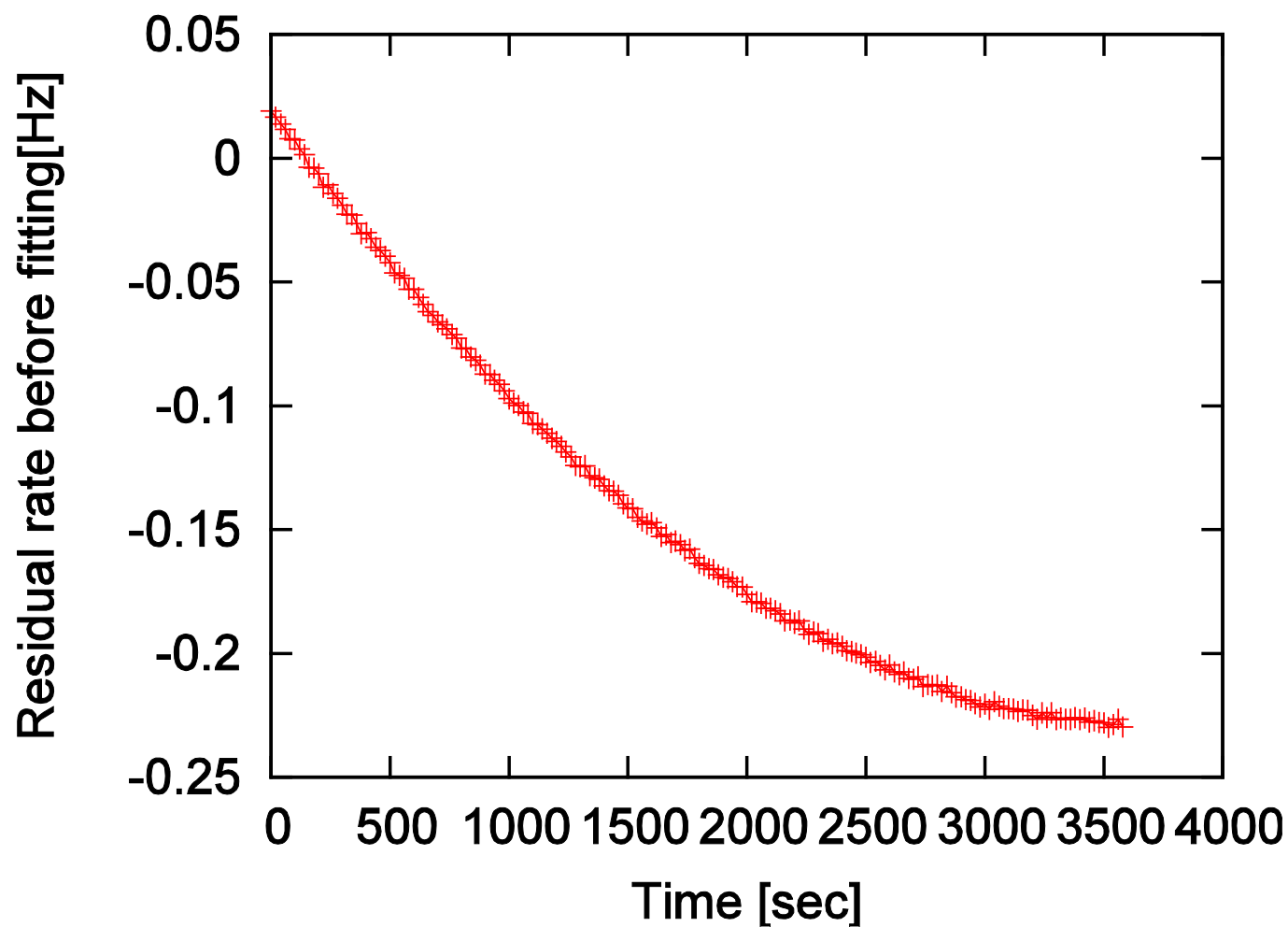
月の追尾観測について

- MICE2015実験において、UT10:40から1時間、月をトラッキングしてSPARTと1.85mで観測した
- 月の軌道は10:40の時間を基準として相関処理をおこなった
- 5秒積分をおこない、時系列データ720点を得た

SNR時系列



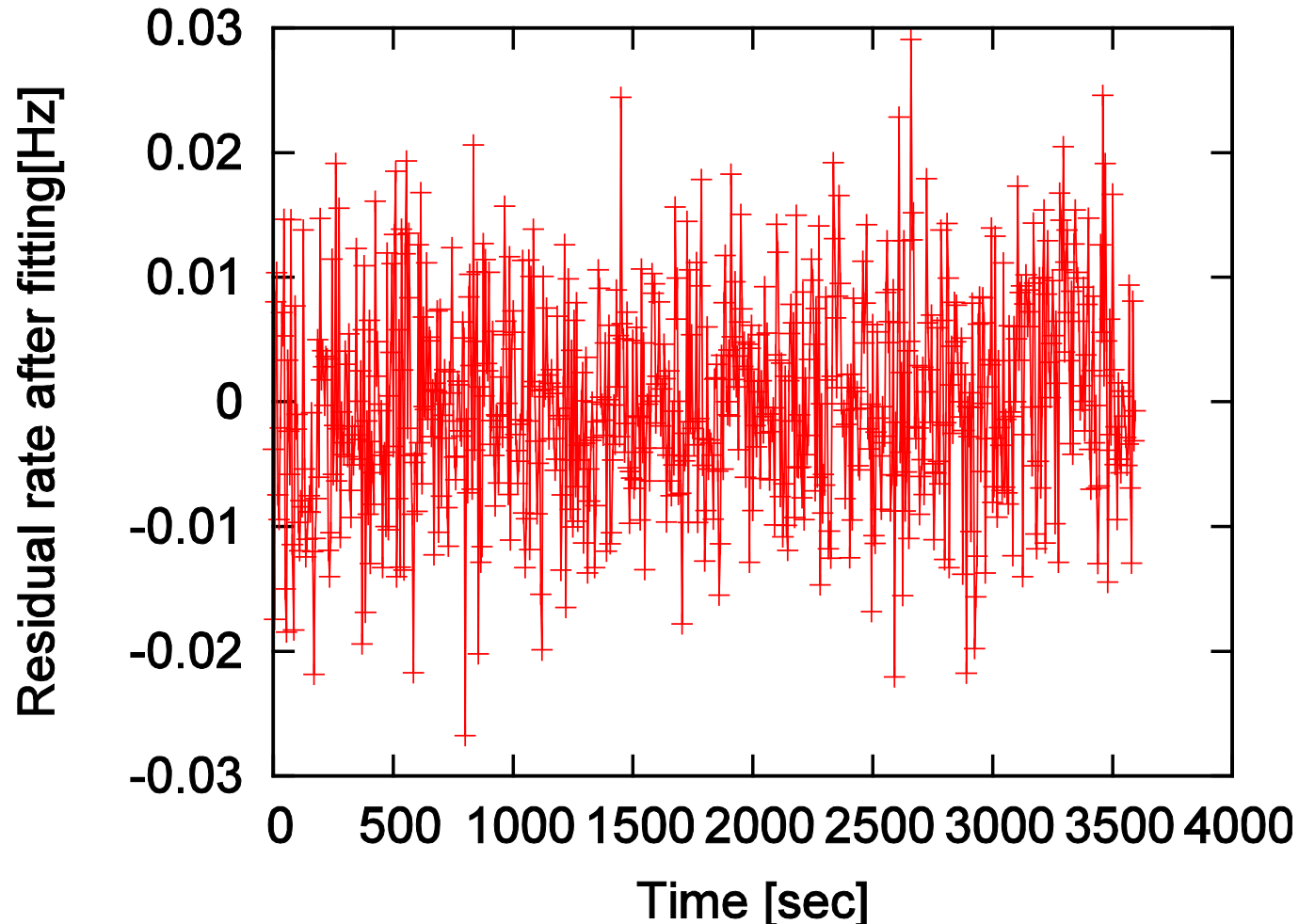
レート残差



レート残差について

- レート残差は相関処理であたえたアプリアリ（事前計算）からの差である。
- これは局位置の誤差や相関処理であたえた月の位置の誤差（10:40に固定した）による
- 230GHzのVLBIでは一時間程度でかなり大きなレート残差であり、このままでは位相が接続できない。
- レート残差に3次までフィッティング
（rate, accel, jerk）までおこなった
 - Jerkまでアプリアリでいじるのは初めて！
- 得られたパラメータをもとに再度相関処理をおこなった

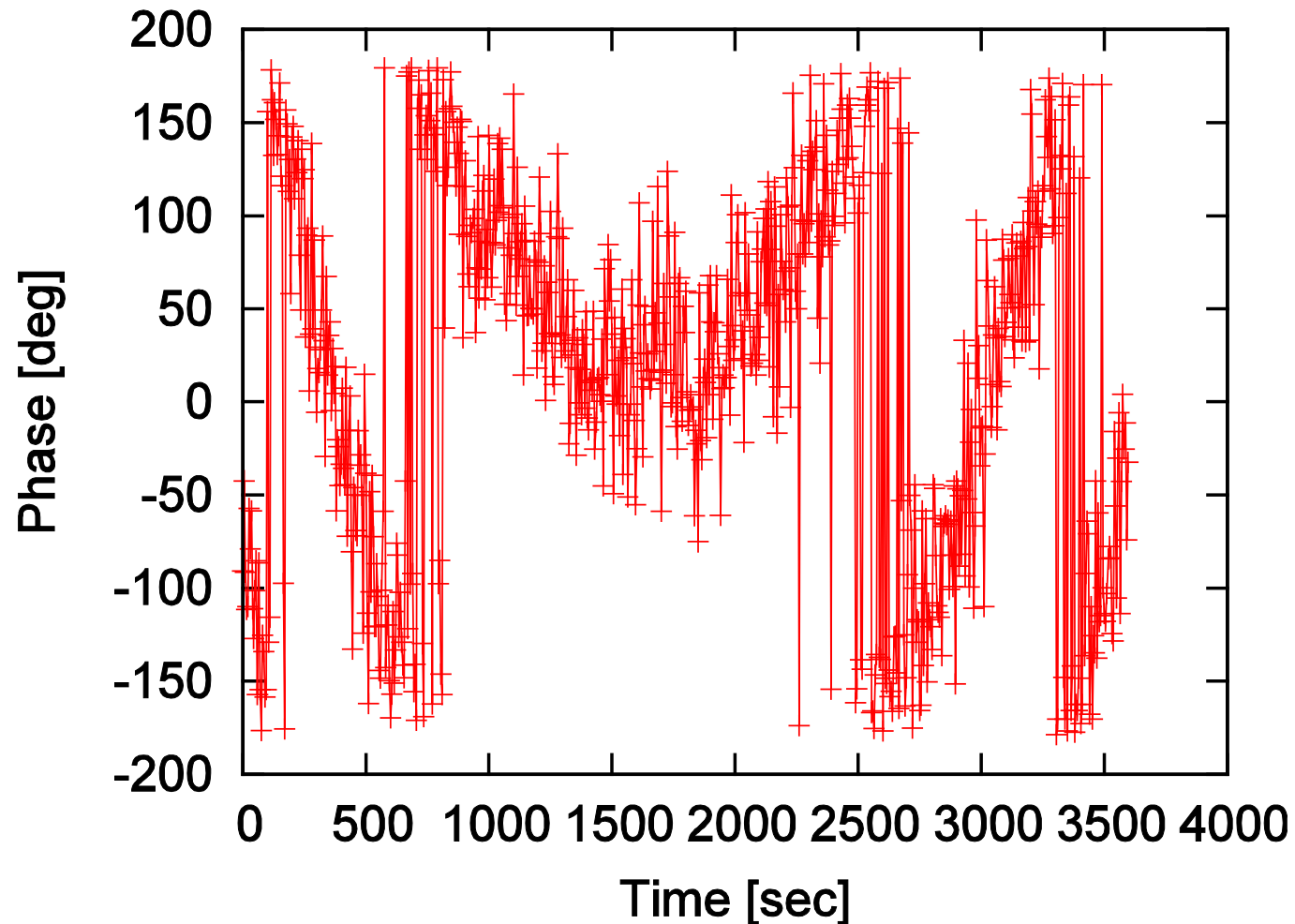
フィッティング後のレート残差



ほぼ残差が20mHz以内に収束

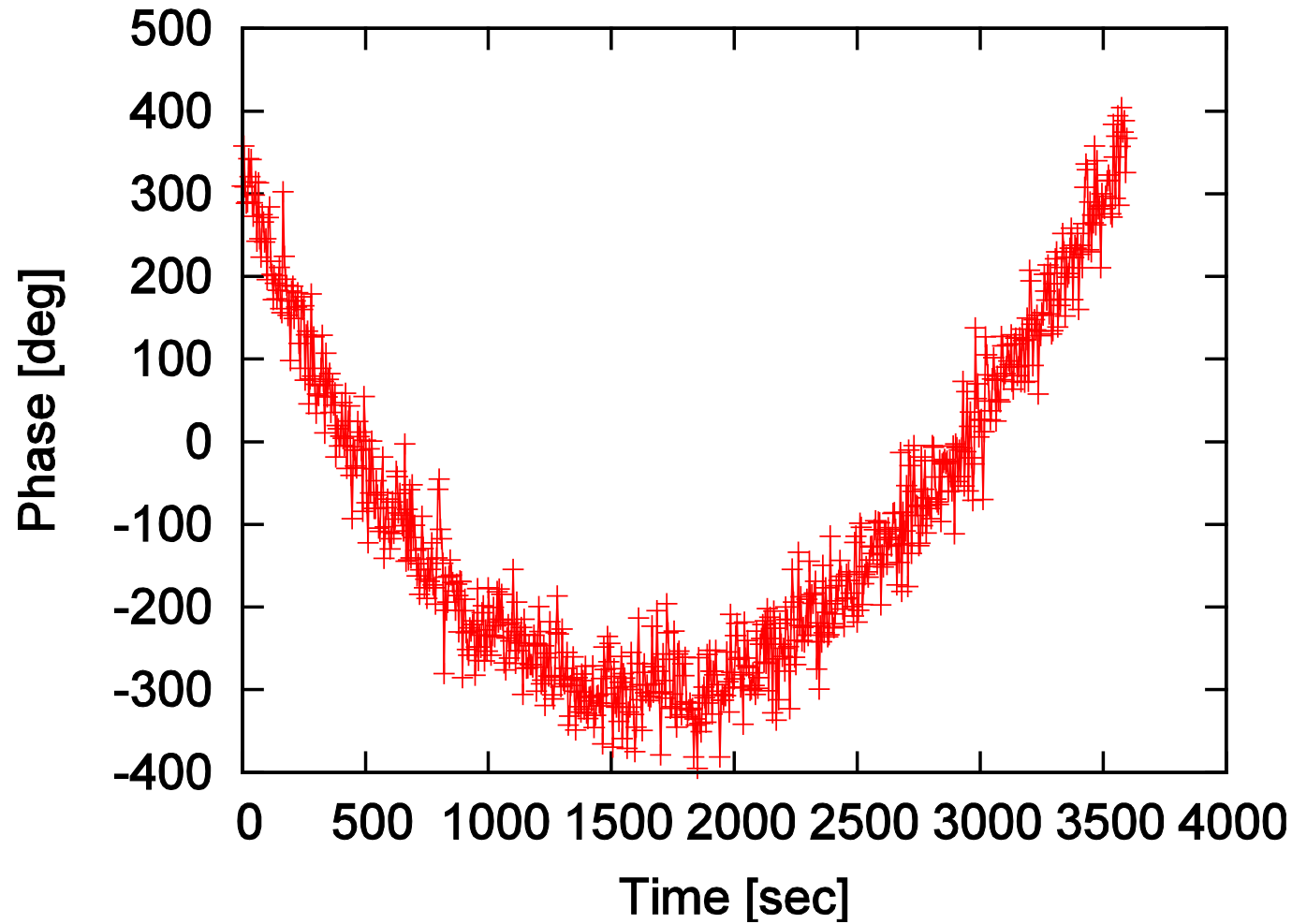
ここまでレートを消すと、局位置誤差や、月の位置誤差の影響がかなり少なくなるはず

フリンジ位相残差



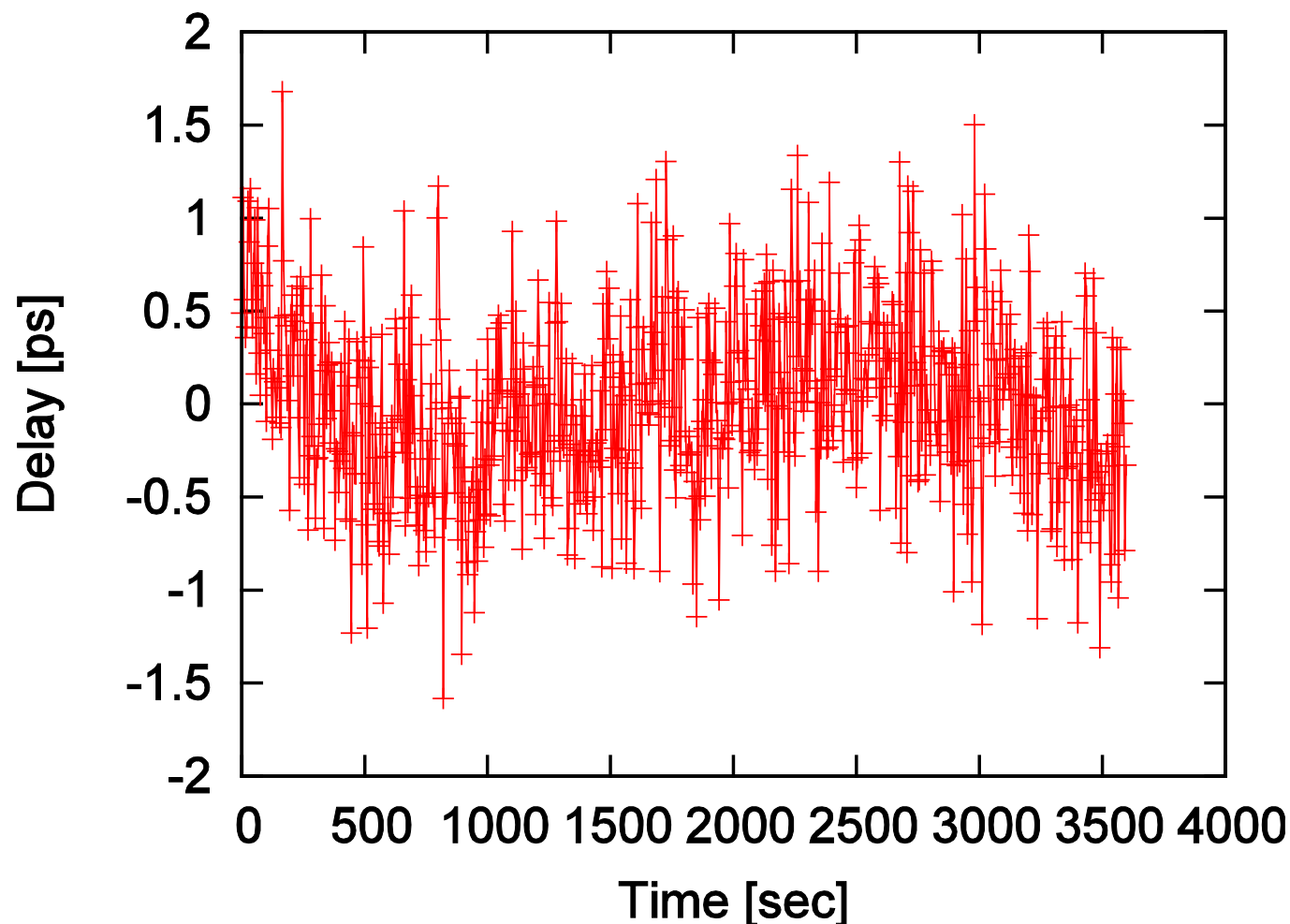
この位相は観測周波数の230GHzで動く！！

位相を接続



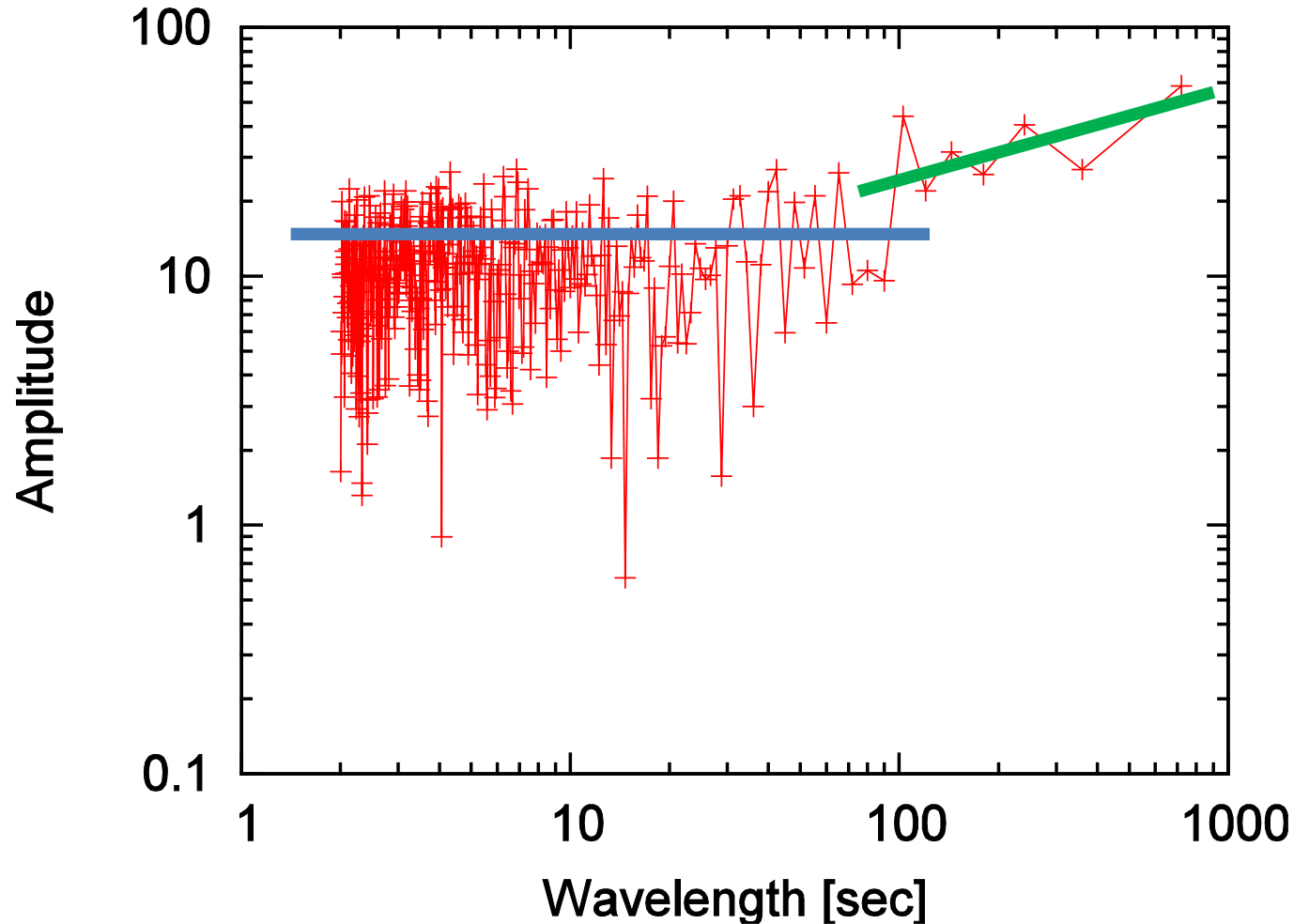
縦軸のオフセットは適当に移動、
レートを調整したにもかかわらず、
230GHzの位相で見るとまだ2次項が見えている

さらにフィッティング



2次項を削除したのち、
230GHzをかけて、位相から遅延に変換
変動量は ± 1 ピコ秒以内。 σ は0.5psくらい

周波数解析



フィッティング後の遅延をフーリエ変換かけて、雑音を解析する
100秒程度まではホワイト成分(青線)、これ以上の長周期はホワイトから外れる(緑線)
おそらく、大気の細かい変動、サンプラのジッタや基準信号やPLOの精度、
月の構造などがあるかもしれない

野辺山ミリ波 VLBI 実験における野辺山宇宙電波観測所の対応

南谷哲宏 (NRO)

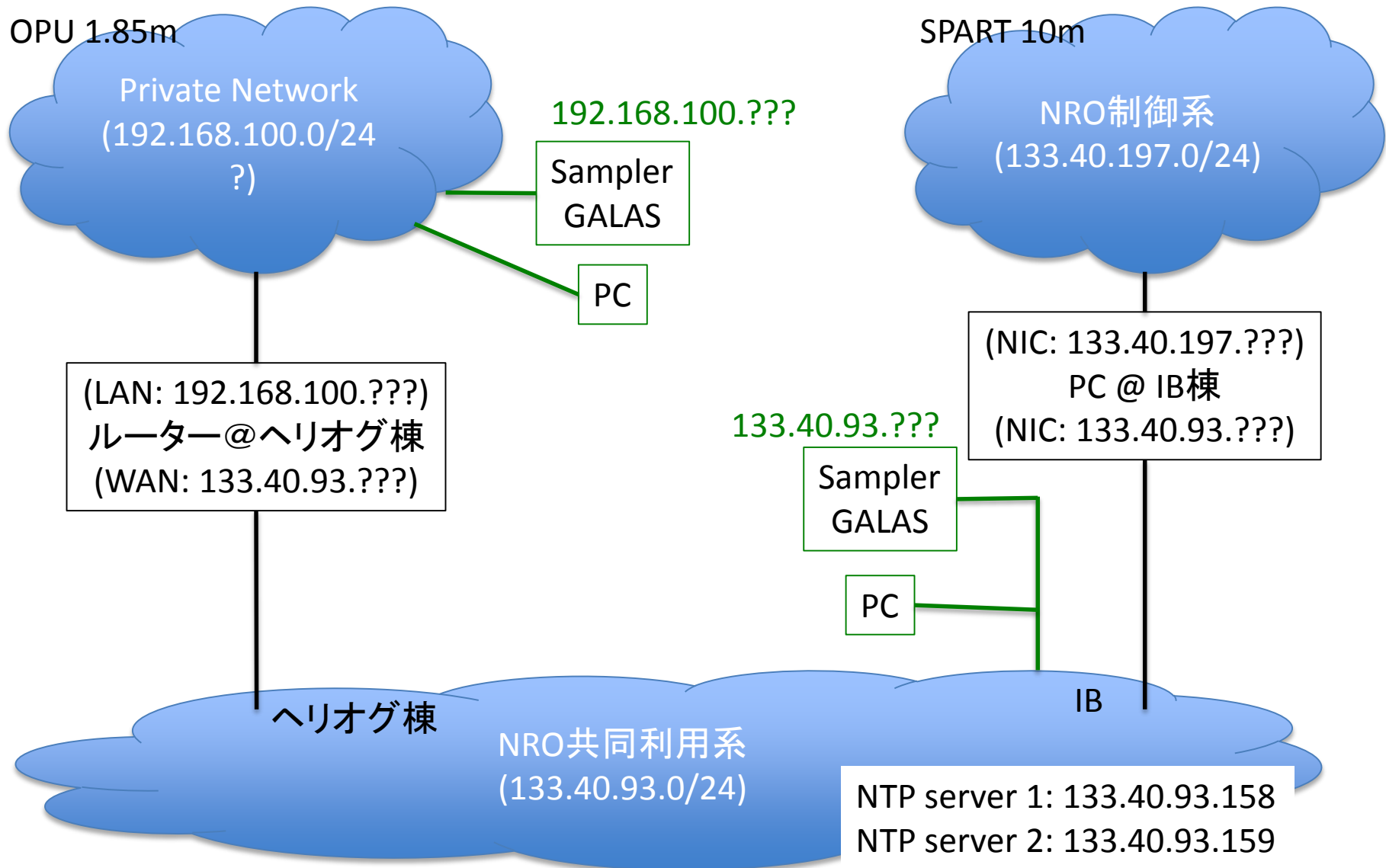
- 事前打ち合わせ (4/02) 出席
- 現地事前調査 (4/06) 対応
 - 打ち合わせ用講義室確保
 - 所内事前アナウンス
 - 調査立ち会い (一部)
 - 打ち合わせ出席
- 各種情報・資料提供
 - 構内地図
 - 基準信号ブロック図
 - ネットワーク関係
 - 構成調査
 - 構成案
 - IP アドレスの割当
 - NTP サーバー情報
- 所内調整
 - 実験内容の連絡
 - ケーブル敷設経路確認
 - IB 玄関前道路通行止め許可
- 実験 (4/25-28) 対応
 - 打ち合わせ用講義室確保
 - 所内アナウンス
 - 機器設置場所調整@IB
 - 準備後、屋外の状況確認 (安全、見学者、所内作業との関係)
 - ケーブル敷設状況
 - 撤収後、屋外の状況確認 (安全、見学者、所内作業との関係)

採用

150423KF

Case 1

- 一番簡単
- OPU側のPC等からSPART側のPC等へのアクセスはOK
- SPART側のPC等からOPU側のPC等へのアクセスはNG



ミリ波 VLBI 国内実験計画書

Version 0.9

作成日：2015/04/23

作成者：藤沢健太

(1) 概要

2015 年 4 月 27-29 日に、野辺山宇宙電波観測所内にある 10m（大阪府立大学、SPART）と 1.85m（大阪府立大学、1.85m 電波望遠鏡）の間で 230GHz 帯の VLBI 実験観測を行い、フリンジ検出を目指す。

(2) 背景と目的

国立天文台 VLBI 運営小委員会に設置された「ブラックホール研究検討会」において、ミリ波・サブミリ波の国内 VLBI 実験観測を行うことが推奨されている。その理由は次のとおりである。

- ミリ波・サブミリ波 VLBI 計画について議論した結果を机上の報告だけに終わらせず、実際の観測・研究へと発展させるために、技術実験が重要である。これは日本の VLBI 研究として、基礎力を付けることにつながる。
- ハワイの JCMT を東アジア天文台が引き受けることになった。これを使った VLBI 実験をぜひ計画すべき。そのために技術検証をしつつ研究計画を立てるべきである。これは EHT などにもインパクトがある。
- ミリ波・サブミリ波 VLBI に興味を持つ若手を引き付け、活躍の場を与え、経験と能力を高める。JCMT を用いた研究の開始が間近なので、この実験観測は今、行うことに意義がある。

我々はこの実験を Mm Interferometer Collaboration Experiment 2015 (MICE2015) と名付けて、野辺山でミリ波 VLBI (230GHz 帯) のフリンジ検出をめざすことにした。長期的な研究計画を本実験と並行して検討しているが、これは別途検討する。

(3) 実験概要

3-0. 参加機関と人員

実験の主体は以下のとおりである。ミリ波 VLBI の研究を行っている国内のグループと、調整役の藤沢、望遠鏡を提供していただく大阪府立大学、VLBI 技術開発を行っている NICT、国立天文台、大学連携からの参加者。末尾に一覧を掲載するが、メンバーは今後流動する可能性がある。

この実験の推進には次の機関に支援をいただいている。大阪府立大学、国立天文台・野辺山宇宙電波観測所、宇宙科学研究所。

3-1. 実験観測システム概要・目標

SPART 望遠鏡と大阪府立大学 1.85m 望遠鏡で 230GHz 帯 VLBI 観測を行う。基線ベクトルは南東—北西方向に約 150m であり、230GHz での最小フリンジ間隔は約 1.8 秒角となる。両望遠鏡は VLBI 設備を持たないので、本実験のために設置して観測する。

今回の実験の到達目標は 230GHz でのフリンジ検出である。

3-2. 運用上の基本方針

両望遠鏡の本来の業務に対する影響を少なくすることを実験実施上の方針とし、そのために次の方法を採用する：

- ・ 望遠鏡の駆動部は、VLBI 実験チーム（以後、MICE）は直接制御しない。MICE から大阪府大グループに天体追尾シーケンスを提示して、望遠鏡を駆動してもらう。（安定運用ができるようになったら、MICE が制御システムを借用して駆動することもある）
- ・ 望遠鏡の駆動は必要最小限とする（駆動部保護のため）。
- ・ 校正は大阪府大グループのシステムを借用し、当初は操作もやってもらう。
- ・ 観測信号はベースバンド（0-1GHz）で大阪府大グループから MICE に受け渡す（責任分界点）。
- ・ 観測周波数は、RF 周波数が 230.0-231.0GHz とする。
- ・ 周波数変換に必要な基準信号 10MHz (+10dBm) は MICE から大阪府大グループに渡す。
- ・ MICE の VLBI 観測機器と周波数標準は、各望遠鏡の場所を借用して設置する。

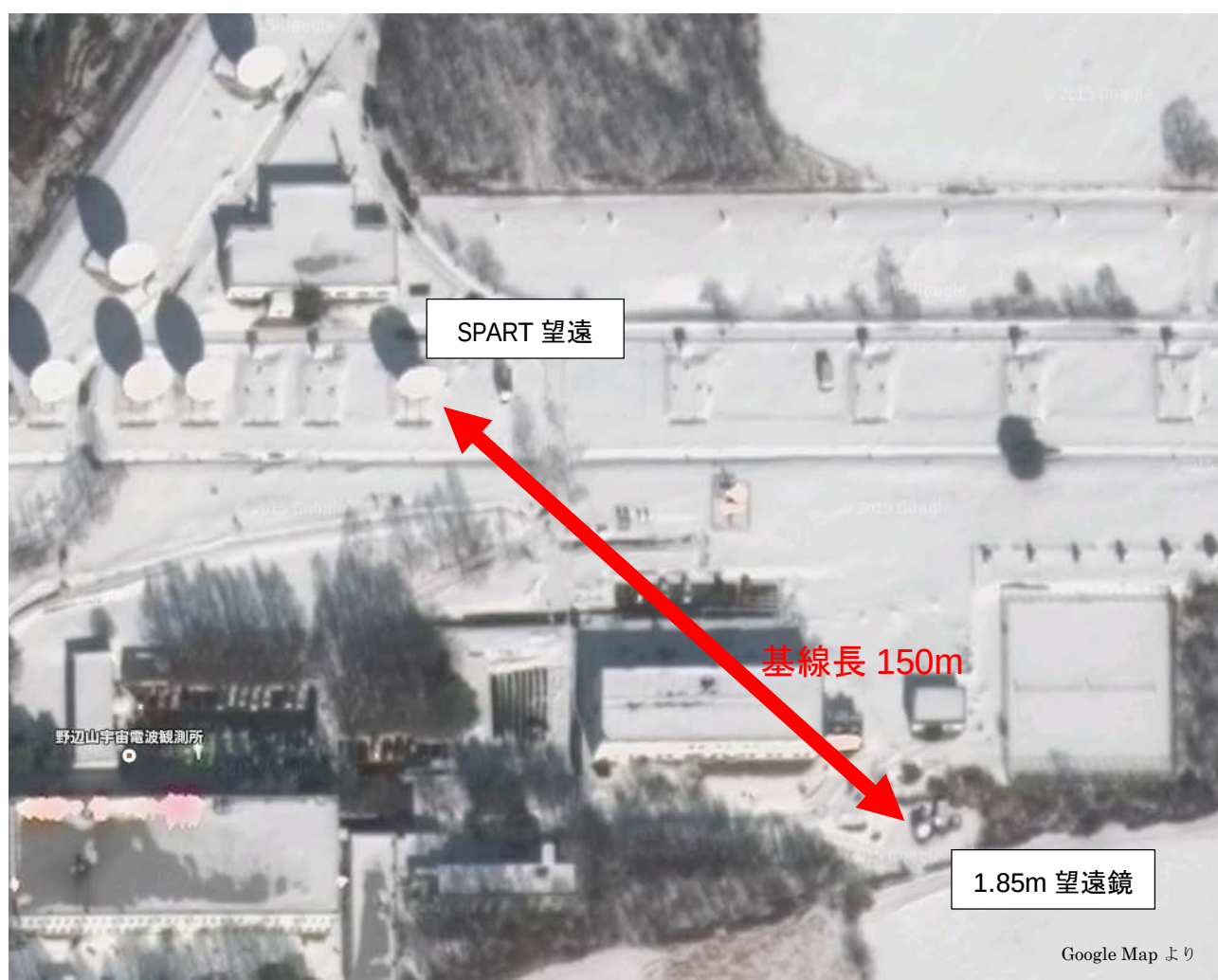


図 1. 基線図（野辺山観測所航空写真；Google Map より）

3-3. 周波数標準

VLBI 観測のための周波数標準は、2つの方式を切り替えてそれぞれ実験する。

- SPART 望遠鏡には 45m 観測棟に設置された水素メーザに位相ロックした 10MHz と 1PPS が供給されているので、これを用いる。
- 1.85m 望遠鏡は水素メーザ信号を光ファイバで伝送する方式（方式1：共通信号・ファイバ方式）と 1.85m の観測小屋に設置した OCXO の信号を用いる方式（方式2：独立信号）の2通りがある。この2通りを切り替える。
- なお、SPART 望遠鏡に別の OCXO を設置して水素メーザ信号の代わりにするという第3の方式（方式3：2つの OCXO 方式）をオプションとして用意する。ただし優先順位は下げてください、実験が順調に進んだ場合にのみ試すことにする。

※参考

- ・ 高安定クリスタル（以下、OCXO）は国立天文台・JAXAのVLBIグループから借用する。
- ・ 光ファイバを用いた信号伝送は、両望遠鏡間に光ファイバ（シングルモード、1芯利用）を連絡し、共通の周波数標準を発生するものであり、NICT鹿島グループが技術・機材の提供を行う。利用可能な240m長の光ファイバはNICTが用意している。なおこの光周波数伝送方式は鹿島34m-11mで実利用されている。光ファイバの設置場所は4月6日の現地調査で確認した。ある程度保護することも確認された。

3-4. VLBI 観測システム・観測周波数・周波数変換・サンプリング・記録

VLBI 観測システムとして NICT 開発のシステムと天文台開発のシステムを検討した結果、観測の準備時間が短いこと、天文台水沢 VLBI 観測所グループの拠点移転時期にあたっていることなどの理由により、今回は NICT のシステムを利用させていただくこととした（長期的には天文台システムを利用することが予想される）。

観測周波数は 230.0–231.0 GHz とする。これを 0-1 GHz（USB (1.85m)または DSB (SPART)) に変換したベースバンド信号を望遠鏡から MICE システムへ受け渡してもらう。

表1. 観測モード

観測周波数	ビットレート	サンプリング	メモ
230.0–231.0 GHz	4Gbps	16Gsps+digital filter 1ch	NICT の実績のあるシステム

機器の設置場所等はブロック図、関戸さんのメモに記した。

- ・ 1.85m 望遠鏡：観測小屋に VLBI 機器等一式を設置する。観測信号と参照信号の I F は小屋の中とする（小屋へベースバンド信号が来る。小屋から 10MHz の参照信号が出てゆく）。
- ・ SPART 望遠鏡：キャビンには 10MHz 分配器、光ファイバ信号送出器、オプションの OCXO（方式3で利用）を設置し、ケーブルは底面の入り口から出す（パテ等で出入口を適切にふさぐ）。VLBI 機器は 27m 離れた位置にある I B に設置する。信号線は道路上を通して（観測実施時期は通行止めにしていただく）I B の窓の隙間から入れる。

3－5．相関処理・データ解析

相関処理は NICT グループに依頼する。観測システムでそのままソフトウェア相関処理が可能なので、観測直後にデータを ftp して相関処理する。これによって準実時間で観測にフィードバックをかけられる。そのために両側の VLBI 観測システムをネットワークに接続し、ftp が可能であるよう設定する。

なお、VLBI 観測システム自体は ntp サーバに接続する必要がある。

3－6．天体の選択

2 素子干渉計の検出感度は次の式で得られる。

$$S_{vmin} = \frac{2k_B\sqrt{T_{s1}T_{s2}}}{\eta_c\sqrt{A_{p1}A_{p2}}}\frac{1}{\sqrt{2\tau B}}$$

ただしパラメータは表 2 の値を用いた。10m-1.85m の最少検出感度は表 3 のとおり。1GHz の帯域幅で 10 秒間積分としても、5 σ の検出感度は 16 Jy である。したがって天体の選択は十分注意しなければならない。

今回の観測では、「月のエッジ」を対象とすることになった。月のエッジの輝度分布に含まれるフーリエ成分を観測する。1.85m も SPART 望遠鏡も月のエッジ（方位角は検討中）を連続的に追尾する。オフセットは A z または E 1 で重畳する。運用の簡易化のためにオフセット量は観測中は固定とする。オフセット位置・量は検討中。

なお、基線長が短いことにより、相関処理の位相中心は 1 度程度間違ってもよい。したがって相関処理時に採用する位置は月のエッジでも中心でも良い。

表 2．観測パラメータ

項目	値
10m システム雑音温度 T_{s1}	300 K
1.85m システム雑音温度 T_{s2}	300 K
10m 有効開口面積 A_{p1}	47 m ² ($\eta=0.6$)
1.85m 有効開口面積 A_{p2}	2.0 m ² ($\eta=0.6$)
量子化・相関器・その他の損失 η_c	0.2

表 3．10m-1.85m 最少検出感度

帯域幅 B [MHz]	積分時間 τ [sec]	最少検出感度 5 σ S_{vmin} [Jy]
1000	1	52
	10	16

3-7. 観測前に必要な情報

- ・ アンテナ位置：VLBI 観測が可能な程度の精度で局位置を知る必要がある。実質上は、(x,y,z) 座標で相対位置精度 1 m で実用に耐えると思われるが、できれば 10cm 程度の精度があることが望ましい。ただし地球中心に対する位置ではなく、相対位置精度でよい。これは実験実施当日に現地で GPS を用いて測定することとする。
- ・ ネットワークの利用可能性：観測を行うために NTP のアクセスを必要とする。そのため利用可能なネットワークがあることが前提となる。これは野辺山観測所に依頼して、利用可能となっている。

(4) 観測システム構築

4-1. ブロック図

別紙 1 に観測システムのブロック図を示した。図には観測にかかわるメモを併せて記入した。

4-2. 必要機材・調達・設置

別紙 2 に必要機材リスト、調達方法、設置に関する事項を示した。

(5) 観測実施・時期・参加者

- ・ 観測は 2015 年 4 月 27 日から 29 日にかけて行う。4 月 27 日（月）10 時に講義室に集合してミーティング。ついでセットアップを開始し、その夜に観測を行う。所期のフリンジが検出できたらその時点で観測を終了として撤収に移る。遅くとも 29 日の昼には撤収する。
- ・ 4 月 25 日 10:30 から NICT 機器の搬入・設置、特にネットワーク機器の接続を部分的に開始する。担当は NICT・岳藤さんと大阪府大・木村さん。ただし SPART 望遠鏡は 27 日から。
- ・ 参加者：4 月 27 日に野辺山に集合する予定の方：秋山、土居、岳藤、堤、小川、木村、長谷川、高橋、井上、森前、米倉、藤沢、南谷、三好（夜から）

- - - - -

付録 1. 参加者一覧

● 主研究グループ

- 三好（国立天文台）、春日（法政大）、坪井（宇宙研）、岡（慶應大）、氏原（NICT）、高橋真聡（愛知教育大）、本間、秋山、河野、小山（国立天文台）、土居（宇宙研）、関戸、岳藤、堤（NICT）、小川、大西、前澤、木村、長谷川、高橋、井上、森前、齊藤、原口、西田、種倉（大阪府立大）、米倉（茨城大）、藤沢、新沼、松本（山口大学）、嶺重（京都大）、齋藤、南谷（NRO）（順不同）

● 支援者

- 大阪府立大学
- 国立天文台・野辺山宇宙電波観測所
- 宇宙科学研究所

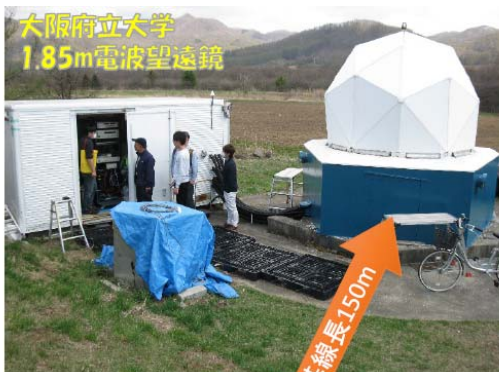
付録 2. 連絡先

藤沢健太（090-2167-1018）

国立天文台野辺山 庶務係 （0267-98-4318）

日本初“230GHz電波干渉計実験観測”に成功

藤澤、嶺重、秋山、関戸、小川、ほか実験チーム



2015年4月27日、藤澤健太教授(山口大学)が率いる研究チームは、長野県・野辺山宇宙電波観測所において、日本で初めて**230 GHz**という**世界最高水準の周波数**で**電波干渉計(VLBI)**実験に成功しました。

意義①全日本のVLBI天文学者の力を結集

山口大学、国立天文台、宇宙科学研究所、情報通信研究機構、大阪府立大学、茨城大学、京都大学の力を結集して、高度な観測システムの技術実証に成功しました。

意義②ブラックホールの証明に大事な一歩

100年来の天文学者の“夢”である「ブラックホールの画像観測そして存在証明」に向けて、極めて大事な一歩を記しました。

1

電波で宇宙を観測する「電波天文学」

- 天体の研究のために、天体が放射した電磁波を望遠鏡で観測する
- 天体は電波やX線など、様々な電磁波を放射する・・・様々な宇宙の姿

天体が放射する電波を観測する「電波天文学」
観測に使うのは「電波望遠鏡」(アンテナ)

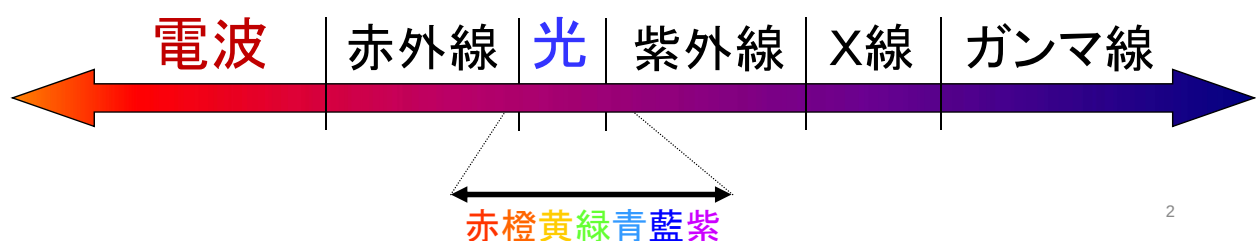
野辺山45m電波望遠鏡



すばる望遠鏡



X線天文衛星「すざく」



2

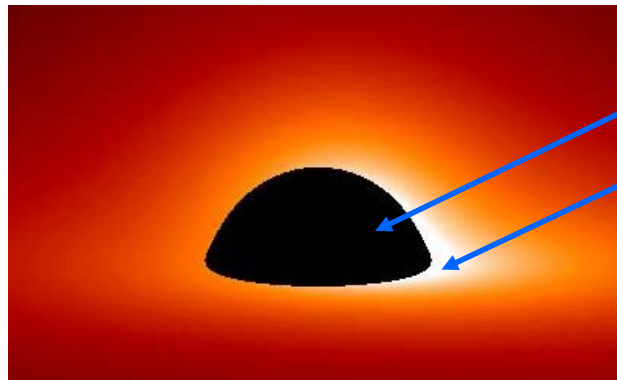
天文学者の夢:ブラックホールを撮影したい！

ブラックホールとは？

- 超強力な重力で光でも何でも吸い込んでしまう天体
- 一般にもよく知られた、魅力的で不可思議な天体
- 候補は多数見つかったが、その存在証明はまだ、なぜなら。。。

その真の姿を見た人はいない
小さくて、遠くにあるから

→ ブラックホールはこういう風に見えるはず



黒い穴（ブラックホール）
光るガス円盤

© 高橋 芳太（苫小牧高専）

なぜ電波干渉計？ なぜVLBI？

• 電波干渉計とは？

→ 2台以上の電波望遠鏡で同時に天体観測（右図）

• なぜ電波干渉計？

→ 小さな像を大きくする能力（解像度）が抜群だから

→ ブラックホールを「見る」唯一の観測方法

→ 他の観測方法では不可能！

• なぜ高い周波数？

→ 高い周波数ほど、解像度が高いから

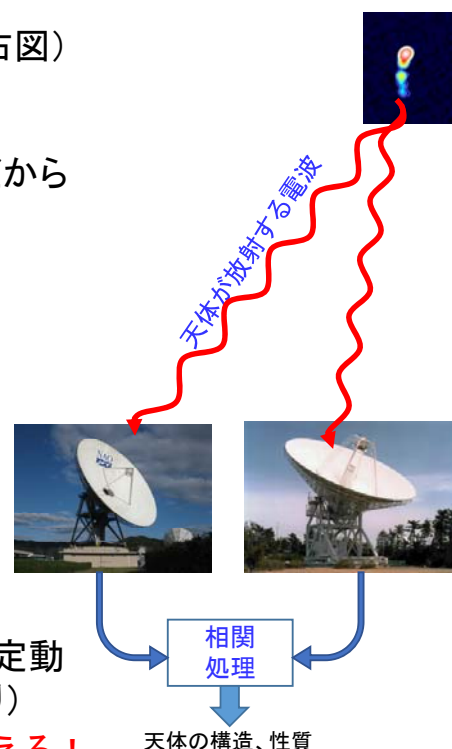
• なぜVLBI（超長基線電波干渉計）？

→ 離れた望遠鏡ほど、解像度が高いから

• なぜ今回初めて？

→ 技術的に難しかったから（観測システムの安定動作、大気の揺らぎ、吸収などの影響に困難あり）

→ 1秒間に2300億回振動する波をきっちりそろえる！



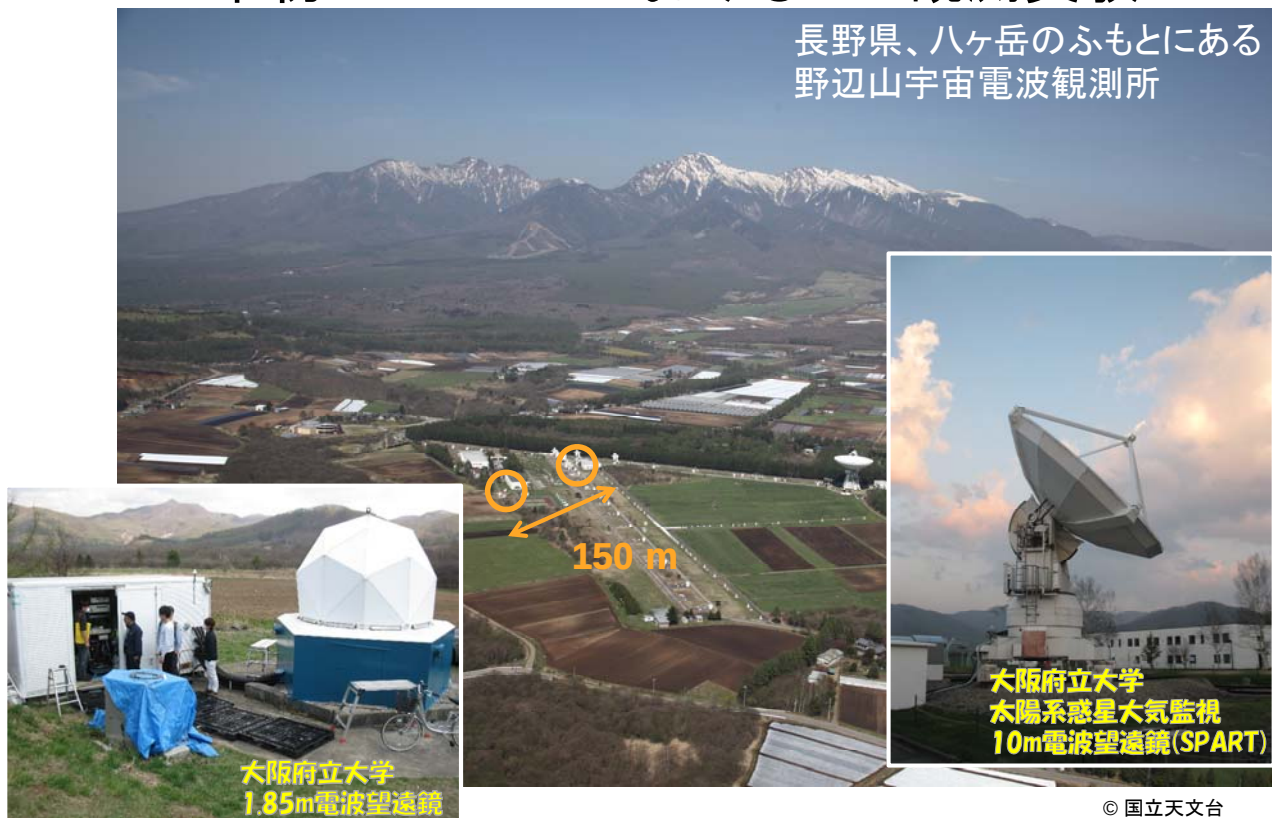
日本初の230GHzにおけるVLBI観測実験

- 目的
 - かつてなく高い周波数でVLBI観測を行う技術の獲得
- 実験内容
 - 場所: 野辺山宇宙電波観測所 (長野県南佐久郡南牧村)
 - 日時: 2015年4月27日
 - 望遠鏡: SPART望遠鏡、1.85m電波望遠鏡 (大阪府立大学)
 - 周波数: 230 GHz (これまでの最高は86GHz)
 - 観測対象: 月 (技術試験なので対象はなんでもよい)
 - VLBI装置: 情報通信研究機構、国立天文台、宇宙科学研究所、茨城大学、山口大学から持ち寄って構築
 - データ処理: 情報通信研究機構が担当

5

日本初の230 GHzにおけるVLBI観測実験

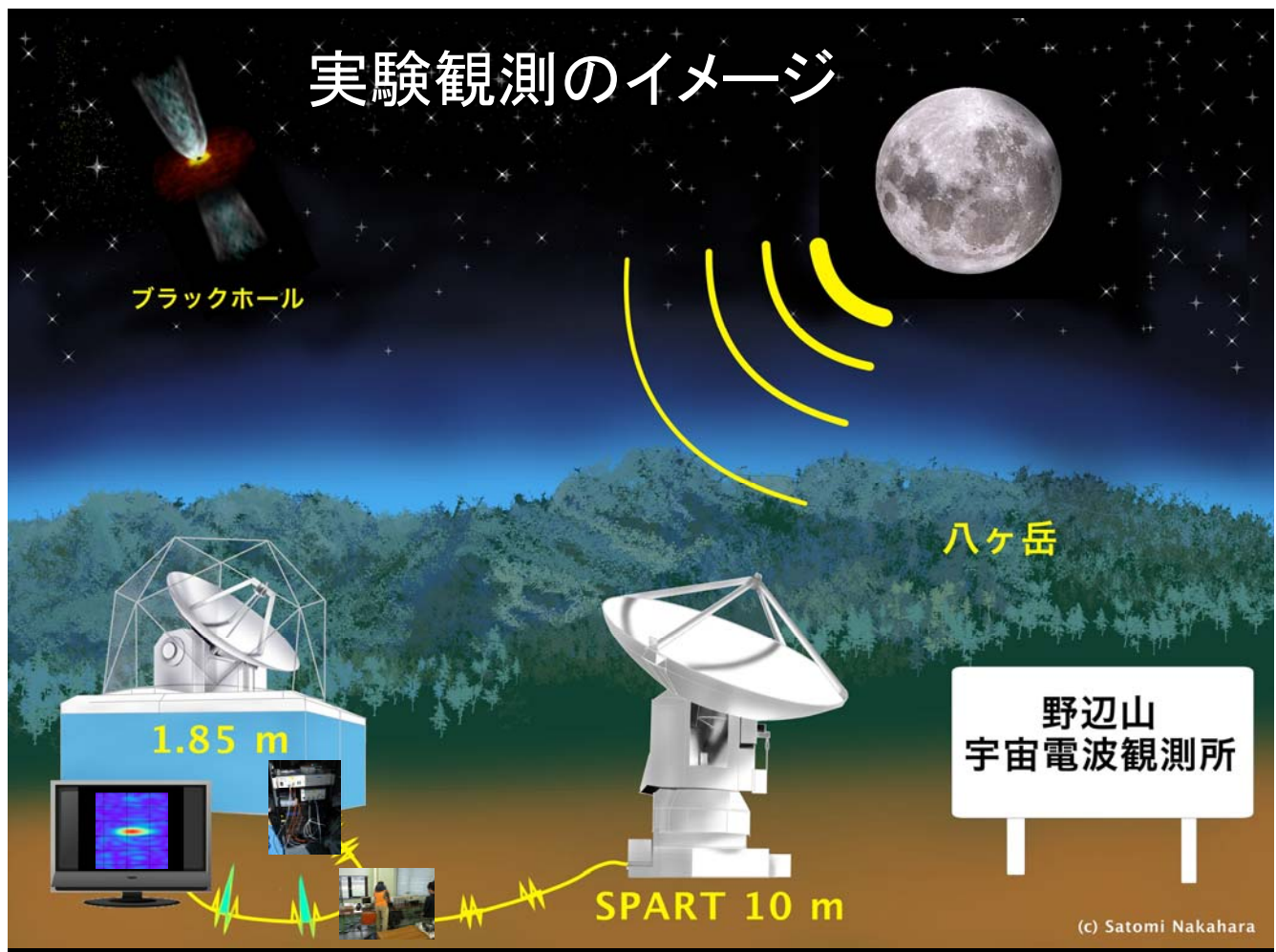
長野県、八ヶ岳のふもとにある
野辺山宇宙電波観測所



大阪府立大学
1.85m電波望遠鏡

大阪府立大学
太陽系惑星大気監視
10m電波望遠鏡(SPART)

© 国立天文台



実験成功の鍵、意義

- 実験成功の鍵
 - 230GHzで観測可能な電波望遠鏡の構築(大阪府立大学)
 - 観測システムを超高安定で動作させる周波数標準器OCXOの導入(NAOJ、ISAS/JAXA)
 - 優れたVLBI観測装置とデータ処理技術(NICT)
 - 多くのVLBI天文学者・VLBI技術者の技術と知恵を集めたこと(山口大学)
- 実験成功の意義、将来性
 - 230GHzでのVLBI観測を行う技術を獲得した
 - 国際的な実験観測へ展開できる
 - 野辺山ーハワイの実験観測
 - 野辺山ー韓国の観測
 - ブラックホールの画像化観測を現実のものとして議論できる

「全日本VLBIチーム」

～技術と知恵の集結～



9

国際実験のイメージ

野辺山宇宙電波観測所
SPART 10 m



ブラックホール

ハワイ島
JCMT 15 m

(c) Satomi Nakahara

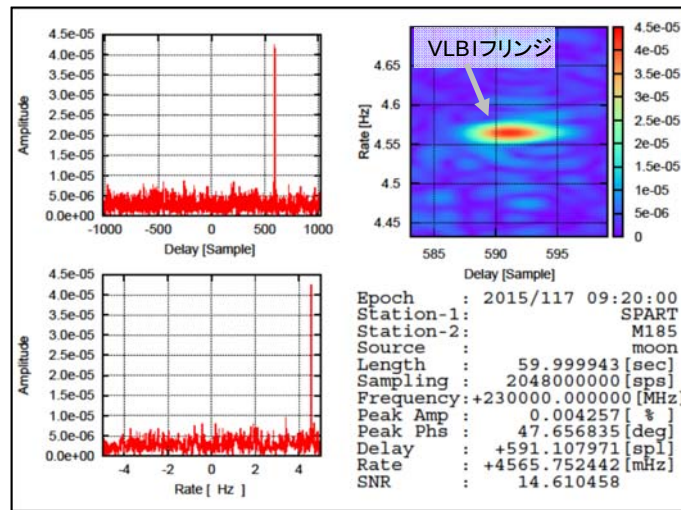
東アジアVLBI観測網(EAVN)



この資料および関連する説明は、以下で入手できます。

http://www.astro.sci.yamaguchi-u.ac.jp/~hachi/mmVLBI_web/

検出された信号(フリンジ)



13

Q & A

- 質問: 230GHzというのがどれだけすごい数値なのでしょうか？

→今まで日本のVLBIでは86GHz(波長3.4 mm)が限界でした。望遠鏡の解像力(“視力”)は、望遠鏡の間の距離と周波数で決まります。周波数が約3倍になったことで、望遠鏡間の距離が同じでも、およそ3倍細かいものが見えるようになります。

- 質問: 国内初、ということですが、海外では実例があるのですか？

→日本の国立天文台をはじめとした日米欧台の国際研究チームが「事象の地平線望遠鏡」(Event Horizon Telescope; EHT)という望遠鏡ネットワークがあり、国立天文台が保有するチリのASTE望遠鏡、ALMA望遠鏡などの国外の望遠鏡ですでに 230GHz (波長1.3 mm)で観測をしています。それと同等の性能です。

VLBIの性能は周波数だけでなく、望遠鏡間の距離にもよります。日本国内の望遠鏡がEHTと協力して観測を行うことで望遠鏡間の距離をさらに延ばし、世界最高の解像度でブラックホールの撮像に挑むことが可能になります。

- 質問: これまでは観測できなかったが、230GHzになったことで観測が期待できることは何でしょうか。

→世界の天文学者・物理学者の100年来の「夢」である「ブラックホールの存在証明」ができるようになることです。従来の観測では、解像度がたらず、また周波数が低いとブラックホールの周りがガスで隠されるため、証明はできませんでした。だから、230GHzの実験成功は世界の天文学者の悲願であったわけです。今回の実験成功により、計画が飛躍的に前進しました。早ければ数年以内にも、「日本も含めた国際協力によりブラックホールの存在が証明される」というニュースが、世界中をかけめぐることでしょう。それは、「今世紀最大のサイエンス十大ニュースの一つ」と数えられることに間違いありません。

14



我々はどこから来たのか、そしてどこへ行くのか——
この問いに一つの答えを与えてくれるのが天文学です。
現代の大文字が明らかにした宇宙像では、
100億年を超える時間の中で星と星間物質が大きな循環をなしており、
私たちはその一瞬に位置する存在とされています。
また物質循環の行きつく先であるブラックホールでは、
日常の感覚を超えた時間と空間の姿が現れます。
宇宙と人間と時間の関わり合いをテーマにして、
第一線で活躍する研究者が研究の最前線を分かりやすく紹介します。

2015.6/6 土

14:00—17:00 (開場13:00)

山口大学 大学会館 (山口県山口市吉田1677-1)

入場無料
(予約不要)

14:00—14:15	藤澤 健太 教授 (山口大学時間学研究所) イントロ「宇宙の中の物質の循環」
14:15—15:00	田村 元秀 客員 (東京大学・教授、国立天文台・太陽系外惑星探査プロジェクト室) 「宇宙における生命と系外惑星の新世界」
15:00—15:45	斎藤 慎 教授 (京都大学大学院理学研究科) 「ブラックホール宇宙における時間の流れ」
15:45—15:55	休憩
15:55—16:40	諸隈 智貴 助教 (東京大学天文学教育研究センター) 「星の最初の火種発見の瞬間」
16:40—17:00	質疑時間

主催 山口大学時間学研究所

共催 日本時間学会

お問合せ 山口大学時間学研究所 tel 083-933-5848 E-mail jikann@yamaguchi-u.ac.jp HP <http://www.rits.yamaguchi-u.ac.jp>

